

محمّد يوسف اللومبي



الوقاية من

المؤينة

الاشعاعات

محمّد يوسف اللومبي



محمّد يوسف اللومبي

تأليف : الدكتور بهاء الدين حسين معروف



منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية

الرئيس القائد صدام حسين

محمّد يوسف اللواتي

مكتبتى الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرباط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الوقاية من الاشعاعات المؤينة

تأليف
الدكتور بهاء الدين حسين معروف

منظمة الطاقة الذرية العراقية

١٩٨٩

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

— المقدمة —

تستخدم الطاقة الذرية للأغراض السلمية كتوليد الطاقة الكهربائية وتوجد تطبيقات عديدة للإشعاع والمواد المشعة في مجال التشخيص والعلاج الطبي وفي الدراسات والبحوث العلمية وكذلك في الصناعة والزراعة. يمكن أن يتعرض العاملون الذين يستخدمون المواد المشعة إلى جرعة إشعاعية ولكن من الممكن الحد من هذه الأضرار عن طريق اتباع أسس الوقاية من الإشعاع.

لقد شمل الكتاب تسعة فصول تناولت الجوانب الفيزيائية المتعلقة بالإشعاع المؤين وتفاعل الإشعاع مع المادة كمدخل للوقاية منه وكذلك مقادير المستوى الإشعاعي والوحدات وطرق قياس الجرعة الإشعاعية والتأثير البيولوجي للإشعاع. وخصص أحد الفصول لحسابات الجرعة الإشعاعية وفصل آخر للجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض لمختلف مصادر الإشعاع وشمل الجزء الأخير معايير الوقاية من الإشعاع وتقدير الخطورة الناتجة عن التعرض للإشعاع وهذه المواضيع هم العاملون في حقول الإشعاع والمسؤولين عن برامج الوقاية والسلطات التشريعية والجهات المسؤولة عن حماية السكان من التعرض للإشعاع.

وختاماً أود أن أقدم جزيل شكري وتقديري لكل من أغنى هذا الكتاب بالملاحظات العلمية واللغوية وأود أن أعبر عن شكري وامتناني لمنظمة الطاقة الذرية العراقية لتعريضها لنشر الكتاب والله الموفق

د. بهاء الدين حسين معروف

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمت مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

المحتويات

المقدمة

17 الفصل الاول: مدخل الى الوقاية من الاشعاع

18	التركيب الذري	1. 1
18	الذرة	1. 1. 1
19	النواة	2. 1. 1
21	النيوترونات	3. 1. 1
21	البروتونات	4. 1. 1
22	الالكترونات	5. 1. 1

23	انبعاث الاشعاع من النويدات المشعة	2.1
23	جسيمات الفا	1. 2. 1
25	جسيمات بيتا	2. 2. 1
30	النيوترونات	3. 2. 1
32	أشعة كاما	4. 2. 1

35	تفاعل الاشعاع مع المادة	3. 1
35	تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة	1. 3. 1
42	تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة	2. 3. 1
43	تفاعل النيوترونات مع المادة	3. 3. 1

51	الفصل الثاني: طرائق قياس الجرعة	
53	قياس دفع الطاقة والتوزيع الطيفي	1. 2
53	انواع مقاييس الجرعة	2. 2
53	حجر التاين	1. 2. 2

55	الوامضات والعملية الوميضية	2. 2. 2
59	الطريقة الكيميائية لقياس الجرعة	3. 2. 2
65	مقياس جرعة الوميض الحراري	4. 2. 2
69	افلام قياس الجرعة	5. 2. 2

79	الفصل الثالث: التأثير البيولوجي للإشعاع	
80	تأثيرات الإشعاع القصيرة الامد (الحاد)	1. 3
85	التأثير على جهاز تكوين الدم	1. 1. 3
86	التأثير على الجهاز الهضمي	2. 1. 3
86	التأثير على الجهاز العصبي المركزي	3. 1. 3
87	التأثير الحاد على الرئة	4. 1. 3
88	التأثيرات الأخرى للتعرض الحاد	5. 1. 3
89	الجرعة المتوسطة القاتلة	2. 3
91	العوامل المؤثرة على البقاء بعد التعرض الحاد للإشعاع	3. 3
92	التأثير الجسمي للتعرض طويل الامد (المزمن)	4. 3
92	الحث على تكوين مرض السرطان	1. 4. 3
97	الحث على عتمة عدسة العين	2. 4. 3
97	تقصير الحياة	3. 4. 3
98	تأثيرات التعرض أثناء الحمل	5. 3
98	التأثيرات الوراثية	6. 3

105	الفصل الرابع: مصادر التعرض الى الإشعاع	
105	النظائر المشعة الطبيعية	1. 4
106	النشاط الإشعاعي في قشرة الأرض	1. 1. 4
109	النشاط الإشعاعي في الماء	2. 1. 4
110	النشاط الإشعاعي في الهواء	3. 1. 4

113	العناصر المشعة في الكائنات الحية	4. 1. 4
114	الاشعة الكونية	5. 1. 4
115	النويدات المشعة المتولدة بفعل الاشعة الكونية	6. 1. 4
116	المواد المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية	2. 4
117	المواد المشعة الناتجة من تعدين وطحن اليورانيوم	1. 2. 4
118	المواد المشعة الناتجة من تصنيع الوقود النووي	2. 2. 4
119	المواد المشعة الناتجة من تشغيل المحطات الكهرونووية	3. 2. 4
126	المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود	4. 2. 4
128	خزن ورم النفايات المشعة	5. 2. 4
132	مصادر اخرى للاشعاع ذات علاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية	6. 2. 4
132	مصادر الاشعاع الطبيعية المصنعة	3.4
134	توليد الطاقة من الفحم الحجري	1. 3. 4
134	انتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية	2. 3. 4
134	استغلال الصخور الفوسفاتية	3. 3. 4
136	مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكية	4.4
136	الاجهزة ذات الارقام المضئية	1. 4. 4
137	الاجهزة الكهربائية والالكترونية	2. 4. 4
137	كواشف الدخان	3. 4. 4
138	السيراميك والادوات الزجاجية	4. 4. 4
141	الفصل الخامس : حسابات الجرع الاشعاعية	
141	التقديرات المتعلقة بالافراد	1. 5
141	التشعيع الخارجي	1. 1. 5
144	الاشكال الهندسية لمصادر الاشعاع	2. 1. 5
154	العلاقات التي تشمل الانحلال الاشعاعي والطرح البايولوجي ...	3 1. 5

155	تقديرات الجرعة المتعلقة بالمصدر	2. 5
156	النماذج البيئية	1. 2. 5
167	حساب الجرعة الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى الجو ..	2. 2. 5
	حساب الجرعة الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى البيئة	3. 2. 5
177	المائية	
	الفصل السادس: الجرعة الاشعاعية الناتجة من تعرض السكان	
185	للاشعاعات المؤينة	
	الجرعة الاشعاعية الناتجة من التعرض الى مصادر الاشعاع	1. 6
186	الطبيعية	
186	دليل كمية الجرعة الممتصة من الاشعة الكونية	1. 1. 6
	الجرعة الاشعاعية الناتجة من التعرض الى النويدات المشعة المولدة	2. 1. 6
188	بفعل الاشعة الكونية	
	الجرعة الاشعاعية الناتجة من التعرض الى النويدات المشعة	3. 1. 6
188	الملازمة لتاريخ الارض	
	مكافئ الجرعة السنوية المؤثرة الناتجة من التعرض الى اشعة كاما	4. 1. 6
190	الارضية	
193	التعرض للاشعاع الطبيعي (المحور تقنيا)	2. 6
195	الجرعة الاشعاعية الناتجة عن استخدام النواتج العرضية والنفايات ...	1. 2. 6
195	الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض داخل الابنية	2. 2. 6
196	الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض المتزايد الى الاشعة الكونية .	3. 2. 6
198	الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض الى بعض السلع الاستهلاكية	3. 6
201	الجرعة الاشعاعية الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية	4. 6
203	تعدين وطحن اليورانيوم	1. 4. 6

203	تصنيع الوقود النووي	2. 4. 6
205	تشغيل المحطات الكهرونووية (المفاعلات)	3. 4. 6
211	استخلاص الوقود النووي لتوليد الطاقة الكهربائية	4. 4. 6
211 ..	خزن ورم النفايات المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية	5. 6
212	المساهمات الاخرى	6. 6
212	النقل	1. 6. 6
212	منشآت البحوث النووية	2. 6. 6

221	الفصل السابع : التعرض المهني للاشعاع	
222	تحليل الجرعة المهنية	1. 7
224	طريقة المراقبة وتسجيل الجرعة	1. 1. 7
225	الجرعة المفترضة	2. 1. 7
226	خواص توزيع الجرعة	3. 1. 7
228	التوزيع المصدري	4. 1. 7
229	توقعات الجرعة لكل العمر	5. 1. 7
230	الاستعمال الطبي للاشعاع	2. 7
230	التشخيص	1. 2. 7
232	العلاج بالاشعة	2. 2. 7

234	استعمال الاشعاع في الصناعة والبحوث	3. 7
234	التصوير الصناعي الاشعاعي	1. 3. 7
235	الصناعات الوضائية	2. 3. 7
236	انتاج النظائر المشعة	3. 3. 7
236	الاستعمالات الصناعية الاخرى	4. 3. 7
237	البحوث	4. 7

مستأد من (الربيعي)

الفصل الثامن: معايير الوقاية من الاشعاع الاساسية وتطبيقاتها .. 241

241	الفلسفة وأسس الوقاية من الاشعاع	1. 8
242	نظام تحديد الجرعة	2. 8
243	التبرير	1. 2. 8
244	ايصال الوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى	2. 2. 8
248	تحديد الجرعة	3. 2. 8
250	المستويات	4. 2. 8
251	حدود مكافئ الجرعة السنوية	5. 2. 8
253	الحدود الثانوية للتعرض المهني	6. 2. 8
254	الحدود والكميات الثانوية لافراد المجتمع	7. 2. 8
256	التطبيقات العملية لاسس الوقاية من الاشعاع	3. 8
256	منح الاجازة	1. 3. 8
258	الوقاية من الاشعاع في مجال التعرض المهني	4. 8
258	واجبات ادارة المنشأة	1. 4. 8
263	النواحي العملية الخاصة بتطبيق الوقاية من الاشعاع	2. 4. 8
271	المراقبة الطبية للعاملين	5. 8
273	تصنيف مناطق العمل	6. 8
274	المناطق المسيطر عليها	1. 6. 8
280	المناطق المراقبة	2. 6. 8
281	المتطلبات المشتركة للمناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة	3. 6. 8
282	الدخول الى مناطق الموقع	4. 6. 8
283	التخطيط للعمل	7. 8

284	تصريح العمل الاشعاعي.....	1. 7. 8
287	السيطرة على الدخول.....	2. 7. 8
287	مسح ومراقبة المنطقة.....	3. 7. 8
288	مراقبة مناطق العمل.....	4. 7. 8
288	الحد من التعرض.....	5. 7. 8
289	حالات الطوارئ.....	8. 8
290	التعرض في حالات الطوارئ والحوادث.....	9. 8
294	التعرض الطبي.....	10. 8
297	تعرض السكان ما عدا التعرض الطبي.....	11. 8
299	مفاهيم الوقاية المتعلقة بالافراد.....	12. 8
301	مفاهيم الوقاية المتعلقة بالمصادر.....	13. 8
301	الحد من التعرض.....	14. 8
303	التعرض من السلع الاستهلاكية.....	15. 8
303	طرح المواد المشعة الى البيئة.....	16. 8
304	وضع حدود طرح المواد المشعة.....	1. 16. 8
304	السيطرة على المواد المشعة المطروحة.....	2. 16. 8
306	التعرض غير الطبيعي للسكان والاجراءات التصحيحية.....	17. 8
307	خطة الطوارئ.....	18. 8
313	الفصل التاسع تقدير الخطورة الناتجة من الاشعاع.....	
313	تاريخ نشوء الوقاية من الاشعاع.....	1. 9

319	تطور حدود الجرعة الإشعاعية	2. 9
324	معامل النوعية	3. 9
328	تقدير الخطورة لأغراض الوقاية من الإشعاع	4. 9
330	تقدير الخطورة لعموم الجسم	1. 4. 9
331	تقدير الخطورة لأعضاء الجسم	2. 4. 9
332	التأثيرات الوراثية	3. 4. 9
333	الضرر الإشعاعي	5. 9
337	الكميات والوحدات المستعملة في مجال الوقاية من الإشعاعات المؤينة	الملحق 1
370	التعاريف	الملحق 2
380	معاني الكلمات	الملحق 3
402		المراجع

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع أرشيف الإنترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل الاول

مدخل الى الوقاية من الاشعاع

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل الاول

مدخل الى الوقاية من الاشعاع

توجد عدة انواع من الاشعاع بضمنها الاشعاع الحراري والضوء المرئي والاشعة فوق البنفسجية والموجات الراديوية وهي على شكل حزم غير متصلة (Discrete bundles) من الطاقة تدعى الفوتونات (photons). ان معظم هذه الاشعاعات تنتج عن اهتزاز الالكترونات في المادة وتكون مختلفة في طاقاتها.

ان الاشعاعات المؤينة وهي تشمل الاشعة السينية (X - rays) واشعة كاما (Gamma rays) ودقائق الفا وجسيمات بيتا والنيوترونات. يستعمل مصطلح النشاط الاشعاعي لوصف التحولات الذرية الذاتية الخاصة باطلاق الطاقة والتي تتضمن تغيراً في نواة الذرة. ان الطاقة المحررة تنبعث على شكل اشعاع كهرومغناطيسي (Electromagnetic radiation) او اشعاع جسيمي (Corpuscular radiation) وتدعى النوى التي تضمحل بصورة ذاتية النويدات المشعة التي يمكن ان تنحل بطرائق متعددة وتحدد نسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات حالة استقرار النوى وتحاول النوى غير المستقرة الوصول الى حالة الاستقرار عن طريق تغيير طاقتها او نسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات.

1.1. التركيب الذري (Atomic structure)

الذرة هي اصغر وحدة معروفة للعنصر يمكن ان تبقى وتحفظ بكل الخواص الكيميائية والفيزيائية للعنصر. فالعنصر هو المادة التي لا يمكن فصلها الى مواد اخرى (ماعدا الجسيمات الابتدائية) .

1.1.1. الذرة (Atom)

ان جميع المواد مؤلفة من ذرات وتؤلف الذرة اصغر وحدة ذات مواصفات يمكن تمييزها من العناصر الكيميائية ، وهي تتألف من نواة كثيفة ذات شحنة موجبة تتركز فيها معظم كتلة الذرة وتكون محاطة بالكترونات مدارية ذات شحنة سالبة . ان نصف قطر الذرة الكلي بحدود $1 \times 10^{-8} \text{ cm}$ بينما يبلغ نصف قطر نواتها نحو $1 \times 10^{-12} \text{ cm}$. وجميع الالكترونات تحمل نفس الشحنة الكهربائية التي يكون مقدارها نحو $1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$ (ج) ويكون لها نفس الكتلة البالغة $9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$.

ان الذرة لا تشكل جسيمة صلبة من المادة بل مجموعة من الجسيمات المرتبطة بواسطة القوة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic force)

المتوازنة . ويمكن حساب او تقدير او مقارنة كتلة الذرة (Atomic mass) بالطرائق الكيميائية لعلاقتها بكتلة ذرة الكربون التي لها العدد 12 .

ان الغرام ذرة الذي يرمز له بالحرف (A) هو كتلة العنصر بالغرامات والذي يساوي كتلته الذرية . ومقدار الشحنة الكهربائية اللازمة لتحرير غرام ذري واحد من اية مادة ذات شحنة مفردة يساوي وحدي فرداي (Faraday) التي تساوي 96487 كولومب (ج) وكتلة الذرة المفردة (M) تساوي

$$M = \frac{A}{FLc} = \frac{eA}{F} \dots\dots\dots (1.1)$$

F = حيث ان وحدة فراداي

e = وشحنة الالكترون

M وبهذا فان قيمة

$$M = 1.66 \times 10^{-24} \text{ A} \quad g \dots\dots (1.2)$$

ويعرف الثابت في هذه المعادلة بوحدة كتلة النواة وهو ما يعرف بعدد افوكادرو (Avogadro's number) ويرمز له No الذي تكون قيمته

$$No \frac{A}{M} = 6.02217 \times 10^{23} \dots\dots\dots (1.3)$$

1.1.2 النواة (Nucleus)

وهي قلب الذرة وتكون صغيرة وتتركز الكتلة فيها ولها شحنة كهربائية موجبة. ان نواة الذرة مكونة من جسيمات تدعى النيوكلونات (Nucleons) وهناك نوعان منها لها كتل متساوية تقريباً وهما النيوترونات التي تكون متعادلة الشحنة والبروتونات التي تكون شحنتها موجبة. وهناك عدد من المصطلحات المتعلقة بعدد البروتونات وعدد النيوترونات التي في النواة منها

العدد الذري (Atomic number) : ويرمز له بالحرف Z وهو عبارة عن عدد البروتونات التي في النواة ويمثل كذلك عدد الالكترونات التي في المدارات الخارجية في الذرة المتعادلة.

العدد الكتلي (Mass number) : ويرمز له بالحرف A وهو يساوي الكتلة الذرية كلها تقريباً حيث يساوي عدد البروتونات التي في النواة وعدد النيوترونات الموجودة في النواة كذلك (N)

العدد النظائري (Isotopic number) : ويرمز له بالحرف I وهو يمثل عدد النيوترونات التي في النواة .

النوييدة (Nuclide) : وهي النواة المحتوية على عدد معين من البروتونات والنيوترونات وتكتب على هيئة ${}_Z^AX$ حيث تمثل X الرمز الكيميائي للعنصر .

ومثال على ذلك الكربون - 14 : يكتب ${}^{14}_6C$ وبما ان العدد الذري للعنصر يعرف عادة من رمزه الكيميائي فإنه غالباً ما يحذف وبهذا فإن النوييدة تكتب ${}^{14}C$ فقط .

ومن الممكن ملاحظة عدة انواع من النويدات مثل النظائر (Isotopes) وهي النويدات التي لها نفس العدد الذري ولكن يكون لها اعداد كتلوية مختلفة و Isobar وهي النويدات التي يكون عددها الذري مختلفا ولكن عددها الكتلي يكون متساويا و Isomers وهي النويدات التي يكون لها نفس العدد الذري ونفس العدد الكتلي . وهناك نويدات يكون عدد النيوترونات فيها متساويا ولكن عددها الكتلي مختلف وتدعى Isotone . وتساوي واحدة كتلة ذرية واحدة (One atomic mass unit)

ويرمز لها $\alpha.m.u.$ واحداً من اثني عشر من كتلة ذرة الكربون - 12 (${}^{12}C$) الذي يعرف بأن له كتلة ذرية تساوي 12 بصورة مضبوطة ، وتبلغ قيمة وحدة كتلة ذرية واحدة $1.66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$.

3.1.1 النيوترونات (Neutrons)

تبلغ كتلة النيوترون 1.00867 a.m.u وهو من مكونات نوى الذرات والعلاقة بين الكتلة والطاقة موضحة بالنظرية النسبية.

$$E = mc^2 \dots (1.4)$$

حيث يرمز الحرف E الى الطاقة والحرف C الى سرعة الضوء. وتساوي وحدة كتلة ذرية واحدة (1 a.m.u)

$$1 \text{ a.m.u} = 1.9929 \times 10^{-10} \text{ J} = 931.481 \text{ MeV} \dots (1.5)$$

حيث يرمز الحرف J الى الجول و MeV الى مليون الكترون فولت وهنالك عدد من المصطلحات التي تستعمل لوصف النيوترونات حسب طاقتها. وتراوح حدود طاقة النيوترون التي تهتم الفيزياوي الصحي بين 1KeV-10MeV حيث يرمز KeV الى كيلو الكترون فولت.

4.1.1 البروتونات (Protons)

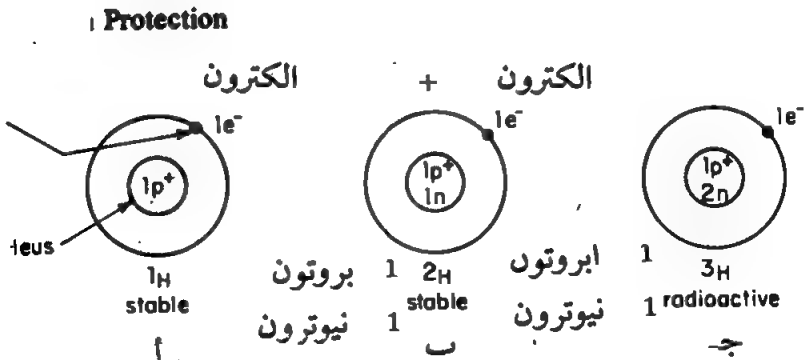
وهي جسيمات لها شحنة كهربائية موجبة واحدة وتكون مستقرة في نواة الذرة وربما يكون هنالك بروتون واحد او اكثر في النواة.

ان كتلة البروتون تبلغ 1.00728 a.m.u. وان عدد البروتونات التي في النواة يمثل العدد الذري للعنصر الذي يحدد موقعه في الجدول الدوري والذي يحدد هويته كذلك. وهذه المكونات تحدث بصورة طبيعية بمكونات وحيدة لنواة ذرة الهيدروجين وانه يمكن ايجادها باعداد اكبر في نوى العناصر الاخرى وللبروتون كتلة مقدارها 1835 مرة كتلة الالكترتون وان لها طاقة اقل من بضعة مليون الكترون فولت وهي تسير بسرعة اقل من سرعة الالكترونات ذات الطاقات المقاربة. ان البروتونات لا تنبعث نتيجة الانحلال الاشعاعي لنوى العناصر.

كما ان ازدياد طاقة الارتباط يؤدي الى ازدياد استقرار النواة لان هذه الطاقة يجب ان تجهز الى النواة قبل ان تتمكن من التجزئة.

5.1.1 الالكترونات (Electrons)

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة عادة. وتبلغ كتلة الالكترون $1/1850$ من كتلة البروتون وهي تدور في مدارات حول النواة ويكون عدد الالكترونات مساو الى عدد البروتونات التي في النواة في الذرات المتعادلة. ان الالكترونات التي حول النواة لا تتحرك بمدار واحد ولكن اعتمادا على عددها فان مجاميع معينة تتحرك في مدارات مختلفة حول النواة ويدعى كل واحد من هذه المدارات القشرة الالكترونية (Electron shell). ان الالكترونات تدور بسرعة عظيمة جدا ولولا قوة الجذب المسلطة عليها من قبل كتلة النواة الاثقل وخاصية التجاذب بين الشحنات المختلفة للالكترونات والبروتونات التي في النواة (مما يجعلها كجزء من التركيب الذري) لانطلقت في الفضاء. وتستطيع الالكترونات المدارية ان تتحرك فقط بمدارات (Orbits) تعرف بواسطة عدد كمي اساسي (Principle quantum number) ويرمز له بالحرف n الذي يمكن ان يأخذ قيمة تبدأ من الواحد فصاعدا دون كسور وتدعى مدارات الالكترونات مدار K ومدار L ومدار M والمدار N وهكذا مماثلة لاعداد الكم 1 و 2 و 3 و 4 واذا ما حدث ان قفز الكترون من مدار الى اخر فانه يتم اطلاق طاقة من قبل الذرة او امتصاص طاقة من قبل الذرة على هيئة اشعة كهرومغناطيسية (Electromagnetic radiation) وبسط تركيب ذري هو للهيدروجين (الشكل 1.1 أ) حيث تحوي النواة بروتون



الشكل 1.1 نظائر الهيدروجين أ - الهيدروجين الخفيف
ب - الهيدروجين الثقيل ج - التريتيوم

واحد ويحيط بالنواة مدار الكتروني فيه الكترون واحد، ان الذرة التي تقع في المرتبة الثانية من حيث البساطة هي ذرة الهيليوم التي يكون فيها بروتونان ونيوترونان مكونة لنواتها مما يعطيها كتلة تساوي اربعة والكترونين في القشرة والنواة التي تقع في المرتبة الثالثة من حيث البساطة هي الليثيوم التي تحتوي نواتها على ثلاثة بروتونات وعلى اربعة نيوترونات حيث تساوي كتلتها سبعة ويكون لها ثلاثة الكترونات لمعادلة شحنة البروتونات اثنان منها في المدار الاقرب الى النواة والثالث في المدار الخارجي .

ان الذرات الاكثر تعقيدا لها اعداد متزايدة من البروتونات والنيوترونات في النواة مع الزيادة المرافقة للالكترونات التي في المدارات المحيطة .
وتعرف العناصر الكيميائية بعدد البروتونات التي في النواة (العدد الذري) والعدد المماثل من الالكترونات ويؤدي التفاعل بين الالكترونات للعناصر الى بناء المركبات الكيميائية .

2.1 انبعاث الاشعاع من النويدات المشعة

(Radiation emitted from radioactive atoms)

تنحل نوى الذرات غير المستقرة في العادة ذاتيا وان هذا الانحلال ينتج عنه اشعاع .

ان فعاليات الانحلال ومعدل انبعاث الاشعاع لا يمكن ان يغيرا او يمنع ولا يتوقف الانبعاث الاشعاعي الى ان يتم انحلال جميع نوى الذرات .
ان الانحلال النووي يولد اشعاعا يتكون من جسيمات الفا وجسيمات بيتا واشعة كاما والنيوترونات .

1.2.1 جسيمات الفا (Alpha particles) : وهي نواة ذرة الهيليوم المشحونة الطاقة المتكونة من نيوترونين وبروتونين وبهذا فان عددها الكتلي يبلغ 4 .

وهي تحمل وحدتين من الشحنات الموجبة ويبلغ عددها الذري 2 . ويبلغ ثقل جسيمة الفا حوالي 7300 مرة اثقل من الالكترون ويتم اطلاق هذه الجسيمات نتيجة الانحلال الاشعاعي للنويدات المشعة التي تكون قيمة عددها الكتلي اكثر من 208 اي اثقل النويدات التي في الجدول الدوري . بالاضافة الى نوى قليلة اخرى اخف من ذلك ومن امثلة مطلقات جسيمات الفا الموجودة بصورة طبيعية اليورانيوم والثوريوم والراديوم والبولونيوم . وهنالك بعض النويدات المشعة الاصطناعية التي تطلق جسيمات الفا مثل البلوتونيوم والامريسيوم .

ان النواة البنت الناتجة يكون لها عدد كتلوي اقل باربعة وعدد ذري (Z) اقل باثنين من النويده الاصل . لقد لوحظ انه من انحلال الفا لنويده معينة يكون لجسيمات الفا المنبعثة واحد أو اكثر من الطاقات الخاصة تتراوح بين 4-9 MeV . ان جميع الطاقات تبتدىء من نفس الحالة الارضية (Ground state) للنويدات الاصلية وهذا ربما يدل على النويات البنينات ربما تركت في حالة تنشيط (Excited state) . ان سرع هذه الطاقات تكون 1.4×10^8 سم / ثا و 2.1×10^8 سم / ثانية على التوالي اي انها اقل من سرع دقائق بيتا في نفس المجال من الطاقة التي تقارب سرعة الضوء .

ان دراسة طاقات جسيمات الفا يدل على وجود مدارات طاقة (Energy shells) في النوى مناظرة لمدارات الكترونات الذرات . ويسبب سرع جسيمات الفا البطيئة فانها تقضي وقتا اكثر قرب الذرات التي تجتازها وهي تؤثر بنبضات اكبر كثيرا في الالكترونات المدارية . ان هذه النبضات تزداد اكثر لان شحنتها والقوى الكهربائية التي تؤثر فيها تبلغ ضعف تلك الناتجة عن الالكترونات ونتيجة لسرعة ادخال جسيمات الفا للطاقة الى الوسط على طول مسارها فان الطاقة الداخلة تكون اكثر كثيرا مما تفعله دقائق بيتا . ان مدى جسيمات الفا المنبعثة من العناصر الثقيلة يكون بضعة سنتيمترات في الهواء او بضعة ملغرامات للمستتمر المربع في المواد الصلبة . ويصاحب انبعاث جسيمات الفا في بعض الاحيان انبعاث اشعة كاما حيث تنبعث خلال فترة قصيرة جداً $(10^{-12}$ ثانية) .

من انبعاث الفا ولكن في بعض الحالات فإن النويدة البنت تستطيع ان تبقى منشطة لفترات زمنية طويلة جداً تبلغ عدة سنوات وتدعى في هذه الحالة متماثلات (Isomers) وعندما يتم اطلاق الطاقة اخيراً على شكل اشعة كاما فإن هذه العملية تدعى التحول التماثلي (Isomeric transformation) .

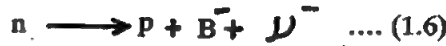
2.2.1 جسيمات بيتا (Beta particles)

وهي الكترونات ذات شحنة سالبة (Electrons) سريعة الحركة او الكترونات موجبة (Positrons) يجري اطلاقها من النواة. ان سرعتها تبلغ 160 الف ميل في الثانية اي نحو 8 مرات اسرع من جسيمات الفا اذا اعتبرنا ان الفا وبيتا لهما نفس الطاقة. ويسبب ان جسيمات بيتا الكترونات لها كتلة صغيرة جداً فهي تستطيع قطع مسافات اعظم من المسافات المقطوعة من قبل جسيمات الفا قبل ان يتم امتصاص طاقتها ولكنها تشتت بصورة واسعة بمسار متعرج (Erratic path) خلال وسط الامتصاص. ان الشحنة الموجبة او السالبة تنتج تايئا خاصا (Specific ionization) حيث ينخفض بصورة اسية مع المسافة. ان مدى جسيمات بيتا يعتمد على الطاقة الابتدائية وعلى كثافة الالكترونات في المادة الممتصة.

ان جسيمات بيتا تكون واحدة من الانواع المهمة من الجسيمات المؤينة بصورة مباشرة. ان هذه الجسيمات يتم اطلاقها من نوى الذرات نتيجة الطاقة المتحررة من فعاليات الانحلال الاشعاعي المستلمة عند تحول النيوترون الى بروتون والكترون ومن الناحية النظرية فإنه من المستحيل ان تتواجد جسيمات بيتا في النواة ولهذا فقد اقترح انها تخلق في لحظة الانحلال بواسطة تحويل النيوترون الى بروتون والكترون ذو شحنة سالبة او بواسطة تحويل البروتون الى نيوترون والكترون ذو شحنة موجبة الذي يدعى كذلك بوزترون (Positron).

ان قيمة طاقة بيتا يمكن ان تكون اي قيمة لغاية الطاقة القصوى التي تتوفر نتيجة الانحلال. ان فرق الطاقة بين هذه القيمة القصوى وبين الطاقة

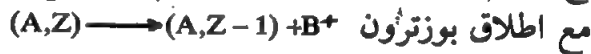
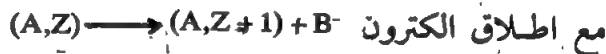
الحقيقية لجسيمة بيتا يجري حلها بواسطة جسيمة اخرى تعرف بالنيوترونو (Neutreno). وفي الواقع فان هنالك نوعان من النيوترونو الاول هو النيوترونو نفسه ورمزه (n) والاخر هو مضاد النيوترونو (Anti neutrono) ويرمز له (\bar{n}). ان التفاعلين اللذين يحدثان في النواة هما تفاعل



وتفاعل



ان التفاعل الذي يتم بواسطته تحويل البروتون الى نيوترون وبوزترون يحدث في النواة فقط ولكن النيوترون يتمكن من الانحلال الى بروتون مع اطلاق الكترون خارج النواة وفي الحقيقة انها لا تشارك في اي تفاعل اخر بل تنحل ويكون عمر النصف لها نحو 13 ثانية وتطلق الكترونا ذا طاقة قصوى مقدارها 0.78 MeV. ان النويده (A,Z) التي تنحل بواسطة اطلاق جسيمة بيتا سوف تشحن عددها الذري Z



ان طيف انبعاث البوزترون يختلف عن طيف انبعاث الالكترن وذلك لتأثير الشحنة على النواة الباقية.

ان الالكترونات ذات الطاقات والسرع المقاربة لتلك التي في جسيمات بيتا تستعمل بصورة واسعة في الصناعة. ان الالكترونات يجري شحنها بالطاقة في مكائن خاصة بواسطة اعطاء فولتية موجبة عالية بين مصدر الالكترونات وبين محطة التجميع (Collecting terminal). ان احد الاستعمالات الواسعة للالكترونات ذات السرع العالية هو في انابيب التلفزيون. اما بالنسبة الى مولدات الاشعة السينية (X ray) فانه يجري شحن الالكترونات بالطاقة باستعمال فولتية اعلى كثيرا حين يتطلب طاقة 70,000 - 115,000 eV في

مولدات الاشعة السينية لاغراض الفحص الطبي وعدة ملايين من الالكترن فولت في بعض اجهزة العلاج بالاشعة السينية .

ان الالكترونات ذات السرعة العالية المنبعثة من النويدات المشعة لها طاقات تتراوح بين بضعة الاف الكترن فولت الى اكثر قليلا من مليوني الكترن - فولت وهي تكون كافية لتتبع وجود النوى التي تطلق هذه الاشعة . وتطلق جسيمات بيتا بسرعات عالية جدا مقارنة الى سرعة الضوء ولهذا عند حساب تفاعلها مع المادة يجب استعمال معادلات نسبية (Relativistic equations) . ومدى جسيمات بيتا اكبر كثيرا من مدى جسيمات الفا حيث يبلغ عدة امتار في الهواء وبضعة غرامات بالسنتيمتر المربع (g. cm^{-2}) في المواد الصلبة ، وبعد ان يتم اطلاق جسيمة بيتا ربما تبقى النوييدة الاصلية في حالة متهدجة وبهذا يتم اطلاق اشعة كاما في انحلال بيتا . وعندما يتم اطلاق بوزترون فانه سوف يبطىء حالا ويتحد مع الكترن . ان زوج الالكترن - البوزترون يتم اندماجه وان الكتلة المستقرة (Rest mass) للجسيمتين تظهر على شكل كمات (Quanta) .

والالكترن الموجب عندما لا يكون مع الالكترن فانه يكون مستقرا ومع هذا فان البوزترون يتحد في النهاية مع الالكترن في تفاعل ينتج عنه فناء (Annihilation) كليهما وينتج عنه اثنان من اشعاع الفناء (Annihilation radiation) لكل منهما طاقة 0.511 MeV . ان الالكترن والبوزترون تدعيان جسيمات مضادة (Antiparticles) ولكل واحد من هذه الجسيمات الابتدائية (Elementary particles) في الطبيعة جسيمة مضادة مساوية في الكتلة ولكن معاكسة في الشحنة وبعض الصفات الداخلية الاخرى . ان تلاقي الجسيمة والجسيمة المضادة ينتج عنه تحطم كامل لمادتيهما وتحويلها الى طاقة فوتونات . وبالرغم من ان الجسيمة المضادة (البوزترون) لا توجد اعتياديا على الارض الا انها تخلق بفعل بعض الانحلالات النووية بالاضافة الى التفاعلات الخاصة بالاشعاعات ذات الطاقات العالية (High energy radiation)

اعمار النصف (Half Lives)

تنتج جسيمة بيتا التي تطلق من قبل المصدر المشع من التحول او الانحلال لذرة ذلك المصدر إلى ذرة عنصر اخر ومعدل سرعة تحول (Rate) الذرة الخاضعة للتحول ومن ثم سرعة انبعاث دقائق بيتا تتناسب بصورة مباشرة مع عدد الذرات المشعة الموجودة وبهذا كلما قل عدد الذرات المشعة نتيجة التحولات الاشعاعية (Radioactive transformation) انخفضت سرعة انبعاث دقائق بيتا وعندما يتم انحلال نصف عدد الذرات المشعة في النموذج فان سرعة انبعاث دقائق بيتا تقل الى النصف واقصى عمر نصف لمطلق دقائق بيتا هو 5730 سنة للكربون - 14 وبين الجدول 1.1 اعمار انصاف بعض النويدات المشعة المطلقه لاشعة بيتا وطاقتها.

الجدول 1.1 خواص بعض مطلقات بيتا*

مطلقات بيتا					الخواص
⁹⁰ Sr	³² P	⁴⁵ Ca	¹⁴ C	³ H	
28.1	14.3	163	5730	12.3	عمر النصف
سنة	يوم	يوم	سنة	سنة	
2.27	1.71		0.156	0.0186	طاقة بيتا القصوى
					(MeV)
1.13	0.70	0.077		0.006	متوسط طاقة بيتا
					(MeV)

المصدر J. Shapiro (1981) 119

مدى دقائق بيتا (Range of beta particles)

ان السمك الاقصى الذي تقوم جسيمات بيتا باختراقه يدعى المدى (Range) ويمثل ل 2.1 بعض مديات جسيمات بيتا. ان المدى يحدد لوسط عام له وحدة الكثافة لان اختراق جسيمة بيتا يعتمد بالدرجة الاولى على كتلة المادة التي تقطعها وانه لا يعتمد بصورة كبيرة على الخواص الذرية الاخرى مثل العدد الذري . ان مدى جسيمات بيتا يعتمد بصورة كبيرة على الطاقة القصوى وغالبا ما يعبر عن المدى بسمك الكثافة (Density thickness) الذي يعرف بانه الكتلة لوحدة المساحة المتمثلة بنموذج ذي كثافة معينة. ان الوحدات تعطي عادة بالملغرامات مقسومة على مربع الستمترات (mg/cm^2) . ولوسط ذي كثافة (eg/cm^3) فان المدى المعطى بوحدة (mg/cm^2) هو $1000e$ مضروبا بالمدى بالستمترات.

الجدول 2.1 مديات بعض مطلقات دقائق بيتا بالستمترات

مطلقات دقائق بيتا					المديات
^{90}Sr	^{32}P	^{45}Ca	^{14}C	^3H	
884	609.6	60.96	30.48	0.61	المدى في الهواء (سم)
1.1	0.8	0.06	0.029	5.2×10^{-4}	المدى في مادة وحدة الكثافة (سم)
0.14	0.10	4.8×10^{-3}	2.2×10^{-3}		المدى في طبقة نصف القيمة (عمتص وحدة الكثافة) سم

- وحدة الكثافة تساوي واحداً :

المصدر J. Shapiro (1981) 119

ان جسيمات بيتا الناتجة عن الفسفور ^{32}P التي لها طاقة قصوى تبلغ 1.71 MeV تحتاج الى 0.8 سم لوحدة الكثافة او 6 سم من الهواء لغرض ايقافها بينما جسيمات بيتا الضعيفة جدا الناتجة من التريتيوم التي تكون طاقتها القصوى 0.018 MeV يمكن ايقافها باستعمال 0.00052 سم بوسط وحدة الكثافة او 6 ملم من الهواء. وقاعدة بديهية ان نصف الطاقات العالية المعطى بالمليون الكترون فولت (MeV) يعطي المدى بالسنتيمترات بصورة تقريبية.

امتصاص جسيمات بيتا في الاوساط

ان مدى مصدر جسيمات بيتا المعطى هو مسافة محدودة وهو يمثل اقصى سمك للمادة يمكن للجسيمات اختراقها. ولقد وجد انه على مسافات قليلة من الوسط تكون سرعة فقدان الجسيمات ثابتة تقريبا وقد وضع مفهوم جديد يتمثل بطبقة قيمة النصف ($\text{Half - Value Layer}$) الذي يعني المسافة التي يتم فيها امتصاص نصف الجسيمات. وبالرغم من ان المدى الاقصى لجسيمات بيتا الناتجة من الفسفور ^{32}P هو 0.8 فان نحو نصف جسيمات بيتا يتم امتصاصها في اول 0.1 سم ونصف تلك التي تنفذ من خلال مسافة 0.1 يتم امتصاصها في الـ 0.1 الذي يلي ذلك. وهكذا والمعادلة التقريبية لطبقة قيمة النصف لجسيمات بيتا بدلالة الطاقة بوحدة مليون الكترون فولت هي

$$\text{HVL} = 0.041 E^{1.41} \text{ cm} \quad (1.8)$$

3.2.1 النيوترونات (Neutrons) : تعتبر النيوترونات من مكونات النواة الاساسية بالاضافة الى البروتونات وتكاد تكون مشابهة للبروتونات بكتلتها وحجمها ولكنها لا تحمل شحنة واعتاديا فانها تكون داخل النواة مع البروتونات وعدد النيوترونات والبروتونات يمثل العدد المميز لاي نويدة ويعرف بالعدد الكتلي.

مصادر النيوترونات

هنالك عدد محدود من مطلقات النيوترونات في الطبيعة. والنواة المشعة التي في الطبيعة والتي تكون غير مستقرة بسبب زيادة النيوترونات مقارنة بالبروتونات سوف تقوم بتغيير هذه النسبة عن طريق تحول النيوترون الى بروتون ضمن النواة مع اطلاق جسيمة بيتا. بدلا عن اطلاق نيوترون. ان النويدات المشعة التي يمكن ان تطلق نيوترونات يمكن ان تولد صناعيا ولكن جميعها ماعدا واحدة منها لها اعمار انصاف قصيرة جدا لا تجعلها مفيدة. والنوية الوحيدة المطلقة للنيوترونات التي لها امكانية عملية هي الكالفورنيوم - 252. ان هذا النظير ما فوق اليورانيوم (Transuranium isotope) له عمر نصف مقداره 2.65 سنة ويخضع الى انحلال واحد بواسطة الانتشطار لكل 31 انحلالا بواسطة اطلاق جسيمة الفا كما ان انشطار كل نواة يكاد يكون مصحوبا دائما باطلاق عدد قليل من النيوترونات التي تختلف لكل انحلال مفرد ويكون متوسط عدد النيوترونات المنبعثة لكل انشطار لنظير الكالفورنيوم - 252 هو 3.76 والى جانب انشطار الكالفورنيوم فان الطريقة الوحيدة لانتاج مصادر نيوترونات هو التفاعلات النووية (Nuclear reactions). كما ان هنالك بعض الماكائن القوية التي تولد النيوترونات وتدعى مولدات النيوترونات (Neutron generators)

ارتطام النيوترونات (Neutron collisions): ان النيوترونات لا تحمل شحنة وان لها كتلة اكبر قليلا من كتلة البروتونات حيث تساوي كتلتها 1.00867 a.m.u ولانها لا تحمل شحنة فانها تفقد الطاقة بصورة مباشرة عن طريق تأينيات متقاربة المسافة كما تفعل الجسيمات المشحونة مثل البروتونات اضافة الى انها ليست كهرومغناطيسية مثل فوتونات كاما فهي بهذا لا تتفاعل مع الالكترونات التي تصادفها في الوسط وتتم النيوترونات من خلال الوسيط دون تفاعل الى ان ترتطم مع نواة الذرة. ان الارتطام الذي يشمل مادتين يحكم بقانون المحافظة على الزخم والطاقة (Law of conservation of momentum and energy) ويكون

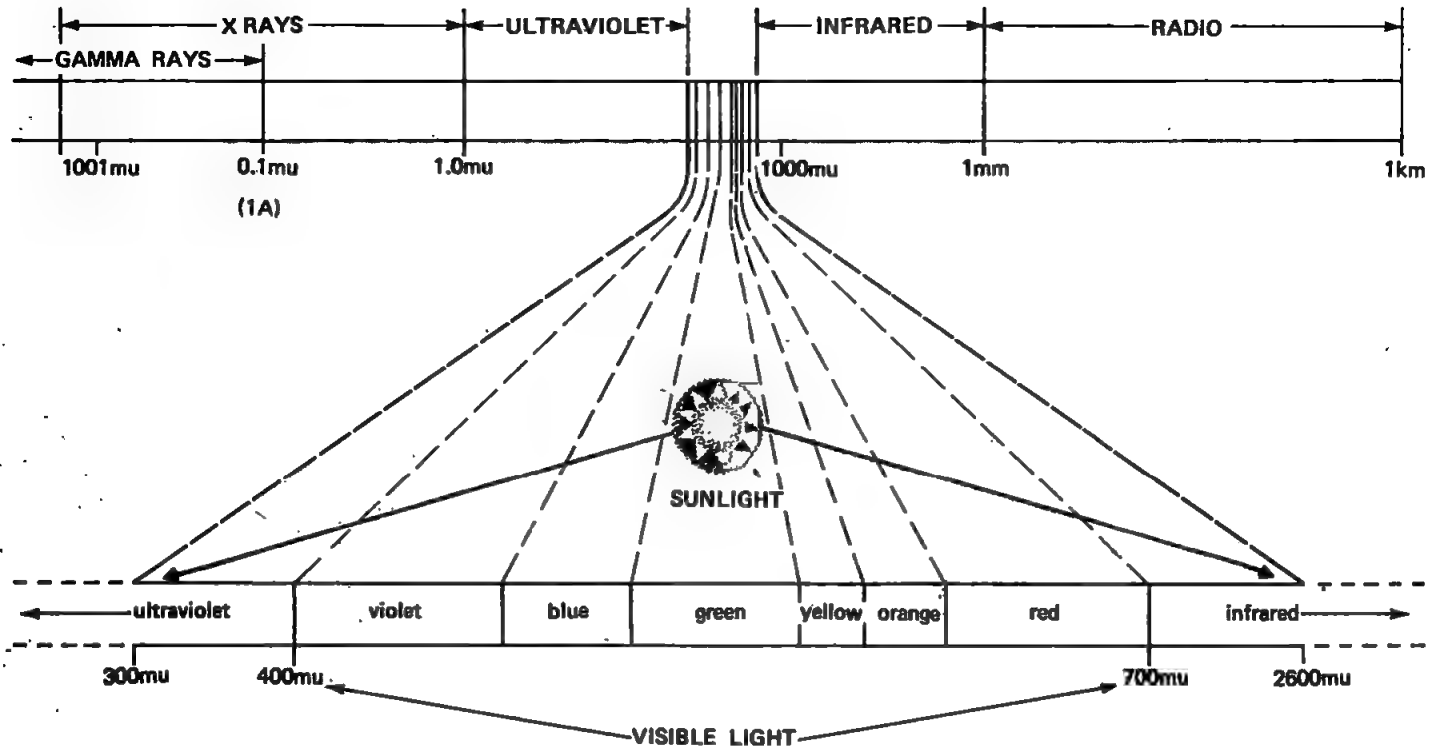
اقصى انتقال للطاقة (Maximum energy transfer) عندما ترتطم النيوترونات مع نوى ذرات الهيدروجين (البروتونات) التي يكون لها نفس الكتلة تقريبا. وتعتمد كمية الطاقة المنقولة كذلك على اتجاهات الارتداد (Recoil) للبروتونات والنيوترونات بعد الارتطام وفيما اذا تم قذف البروتون الى الامام بصورة مباشرة فانها تتسلم جميع طاقة النيوترون الذي يستقر والطاقة القصوى التي يمكن ان تنتقل الى ذرة اثقل من الهيدروجين تقل عند زيادة العدد الكتلي. وهذا الانتقال الجزئي الاقصى (μ) الى هدف ذي عدد كتلي مقداره M يساوي

$$\mu = \frac{4M}{(M+1)^2} \quad (1.9) \dots\dots$$

الذي يساوي واحدا عند الارتطام مع الهيدروجين ($M=1$) وهو 0.28 عند الارتطام مع الكربون $M=12$ ويحدث الانتقال الجزئي الاقصى فقط بجزء صغير من الزمن والمتوسط هو ان الطاقة المنقولة تكون نصف القصوى. ان الذرة المرتدة المشحونة بالطاقة (Energetic recoil atom) تصبح مشحونة بسرعة وتنفذ بصفة جسيمة مؤينة بصورة مباشرة.

4.2.1 اشعة كاما (Gamma rays)

اشعة كاما هي اشعة كهرومغناطيسية وبذلك تشبه الموجات الضوئية ما عدا ان طول موجتها اقل كثيرا من الطول الموجي للضوء (الشكل 2.1). وتنبعث اشعة كاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات (Photons) وعادة يصاحب اطلاق جسيمات بيتا من نفس المستوى وتكون لها طاقات من نفس المجال. ان اشعة كاما تبلغ عدة الاف



الشكل 2.1 الطيف الكهرومغناطيسي موضحا فيه الطول الموجي لأشعة كما

المصدر K.E. Maxwell (1980) 88

من الالكترون فولتس الى بضعة ملايين ، لكنها مخالفة لجسيمات بيتا التي تبطل عند فقدانها الطاقة وينتهي الامر بارتباطها بالذرة بينما تسير اشعة كاما بكافة طاقتها بسرعة الضوء ان اشعة كاما تفقد الطاقة خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عنه قذف الالكترونات من النواة وهي قد تفقد جميع طاقتها او جزءاً منها خلال الالتقاء واذا ما تم فقد جزء من الطاقة فان الباقي يستمر بالسير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقة اقل وكلما زادت طاقة فوتونات كاما زادت طاقة الالكترونات المتحررة .

والإلكترونات التي يتم انتقال الطاقة لها من قبل فوتونات كما تولد. التلف في الوسط (بواسطة تايين وتهيج الذرات) ومتى ما تحرر الإلكترون بواسطة الفوتون فإن الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الإلكترون وليس على فوتون كما الذي يحركه.

كما ان قذف الالكترتون المشحون الطاقة (Energtic electron) بواسطة الفوتون الذي له طاقة مقدارها 1-MeV مثلا من النواة يعتبر تايين مفرد فقط . ان الالكترونات عند تباطئها تولد عشرات الالوف من التاينات والتهيجات وان التلف الناتج سوف يعتمد على عدد ونمط التوزيع الفضائي (Spatial distribution) لهذه التاينات والتهيجات بدلا من التاين المفرد الناتج من فوتون كاما .

هنالك النوع الاخر من الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يكون مشابهاً في خواصاً كثيرة لاشعة كاما والذي يطلق عليه الاشعة السينية (X - rays) والاختلاف الاساسي بينهما يتعلق بمنشئها وبينما تنتج اشعة كاما من التغيرات الحاصلة في النواة فان الاشعة السينية تنبعث عندما يحدث تغيير في مدار الالكترونات الذرية .

3.1 تفاعل الاشعاع مع المادة

(Interaction of radiation with matter)

1.3.1 تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة

The interaction of electromagnetic radiation with matter

الاشعة الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي القصير باستطاعتها ان تؤين المادة وهذه الاشعة تشمل الاشعة السينية واشعة كاما واشعة الكبح او الايقاف (bremsstrahlung) وعندما يتم تفاعل الاشعاع مع المادة فإن التفاعل يعتمد فقط على طاقة الاشعاع الساقط بغض النظر عن مصدر الاشعاع. وتدعى الاشعة الكهرومغناطيسية الفوتونات وهي تؤين بصورة غير مباشرة (Indirectly ionizing) حيث ان معظم التاين ينتج عن جسيمات ثانوية (secondary particles) وعلى سبيل المثال فان الفوتون يطلق الكترون الذرة الممتص له فيسمى الكترونا ثانويا ويكون بطاقة 30 keV. يقوم هذا الالكترن بدوره بانتاج نحو الف ايون قبل ان يستقر. ان الفوتون يستطيع ان يتفاعل عن اربع حالات هي :

- 1 - مع الالكترونات المرتبطة (Bound electrons)
- 2 - مع الالكترونات الحرة (Free electrons)
- 3 - مع المجالات من النوى والالكترونات (Fields of nuclei and electrons)
- 4 - مع نيوكلونات (Nucleons)

وتشمل هذه التفاعلات ما يلي :

- أ - امتصاصا تاما (Complete absorption)
- ب - تشتتاً مرتبطاً (مرنا) (Elastic (coherent) scattering)
- ج - تشتتاً مترابط (غير مرنا) (Inelastic (incoherent) scattering)

هنالك اثنتا عشرة حالة ممكنة يستطيع فيها مجال كهرومغناطيسي من الفوتونات ان يتفاعل مع المادة (الجدول 3.1) ان بعض هذه الحالات تكون ذات اهمية قليلة حيث انها تحدث باقل من 1% ضمن مجال طاقة معينة وهناك عدد اخر بسبب ندرة حدوثها فانها وردت في الجدول 3.1 للدلالة فقط. وعلى هذا الاساس هنالك فعاليات نادرة (Negligible processes) وفعاليات ضئيلة (Minor processes) وفعاليات رئيسة تتضمن بالدرجة الاساس.

التأثير الكهروضوئي (Photoelectric effect)

وفي هذه الفعالية فان الفوتون يعطي كل طاقته ($h\nu$) (حيث يرمز h الى ثابت بلانك و ν الى التردد) الى الكترون الذي يجري قذفه بعدئذ من النواة بطاقة حركية مقدارها $1/2 mv^2$ (على افتراض عدم وجود ظروف نسبية). وهذا التفاعل لا يعتبر تفاعلا يحدث بين فوتون والكترون وانما يعتبر تفاعلا بين فوتون وذرة. ان التأثير الكهروضوئي يمكن ان يحدث فقط فيما اذا كان الفوتون الاتي حاويا على طاقة اعلى من طاقة ارتباط الالكترون المتأثر الذي تجري ازالته واننا بهذا نحصل على سلسلة من القفزات في منحى معامل الامتصاص (او المقطع العرضي) مطابقة الى طاقات الارتباط للمدارات المختلفة ويزداد الامتصاص الكهروضوئي بسرعة مع طاقة الارتباط للالكترون وبهذا فان احتمال التفاعل لهذه الالكترونات يكون اقصى ما عليه لتلك الالكترونات التي تكون اكثر شدة في الارتباط.

التغير مع العدد الذري

تكون المواد ذات العدد الذري العالي ممتصة بقوة للفوتونات وهي مستعملة بكثرة لاغراض الوقاية من الاشعاع. ان الفراغ الناتج عن قذف الكترون من المدار الداخلي يتم ملئه بواسطة الكترونات خارجية تسقط فيه

الجدول 3.1 تصنيف حالات تفاعلات الفوتون

نوع التفاعل			
مادة التفاعل	مع امتصاص	مرن تشتت	غير مرن ج
1 . الكترون ذري $\sigma \sim R^2$ الى	تأثير كهروضوئي طاقة واطئة $\sim Z^4$ طاقة عالية $\sim Z^5$	تشتت رالي $\sigma_R \sim Z^2$ حدود الطاقة الواطئة	تشتت كومبتن $\sigma \sim Z$
2 . نيوكليون (P, n, p, γ)	تفاعلات ضوء نووية (γ, n), (γ, p), (γ, α), etc. واخرى $\sigma_{pn} \sim Z$ ($h\nu \geq 10 \text{ MeV}$)	تشتت نووي مرن	تشتت نووي رنان
3 . مجال كهربائي او الجسيمات المشحونة المحيطة	انتاج زوج أ - مجال النواة $\kappa_n \sim Z^2 (h\nu \geq 1.02 \text{ MeV})$ مجال الالكترتون $\kappa_e \sim Z (h\nu \geq 2.04 \text{ MeV})$	تشتت دلبرك	
4 ميزونات (Mesons)	انتاج ميزون ضوئي Photomeson Products $h\nu \geq 140 \text{ MeV}$		

المصدر K.R. Kase and W.R. Nelson (1978)

بعملية ازالة التهيج (De excitation) وهذه الفعالية ربما تكون مصحوبة بما يأتي

أ - بعث اشعاع متألق

(Emission of fluorescence radiation)

ب - بعث الكترون اوغر (Auger electron emission)

ج - او كليهما.

ويوصف التنافس بين بعث الاشعة السينية من مدار K

وبعث الكترون اوغر بناتج التألق K

(K. fluorescence yeild) وتكون احتمالية بعث K اشعة سينية قرب الوحدة

(Unity) للعناصر ذات العدد الذري العالي ويقترّب من الصفر للعناصر ذات

العدد الذري الواطىء.

اشعاع الخواص (Characterstic radiation)

يترك قذف الكترون ضوئي من النواة فراغاً في احد مدارات الالكترونات وهذا الفراغ يملأ بواسطة الكترون يسقط من مدار خارجي وتظهر الطاقة الكامنة (Potential energy) التي تعطى من قبل هذا الالكترون في بعض الاحيان على شكل فوتونات اشعة سينية كما ان طاقات الفوتون هي من خواص الذرة التي تاتي منها وهي تدعى لذلك اشعة الخواص. وتدعى الفوتونات الناتجة من تحولات الالكترون الى مدار اشعة K (K - radiation) مع تسميات مماثلة لمدار L والمدارات الاخرى.

وهذه الاشعاعات يمكن ان تبزع عندما تكون فراغات مدار K ناتجة

بفعل الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات في انبوب الاشعة السينية

(X - ray tube)

تأثير اوغر Auger/effect : وهي التحولات غير المصحوبة باشعاع التي تحدث عندما تستعمل الطاقة المتوفرة لقذف الكترون المدار الخارجي. والالكترون

المقذوف يدعى الكترون او كـ كما ان التحولات الممكنة كثيرة ويمكن ان تكون اطياف الكترونات اوكـ معقدة جداً.

نتاج التألق (Fluorescence yeild) :

ان ناتج التألق لمدار معين هو عدد الالكترونات الضوئية المقذوفة من ذلك المدار والمصحوبة بالاشعة السينية مقسوما على العدد الكلي للالكترونات الضوئية المقذوفة من ذلك المدار .

انتاج الزوج (Pair Production)

في هذا التفاعل يتحول الفوتون ذو الطاقة العالية الى زوج من الجسيمات متكون من الكترون وبوزترون (Electron - Positron) وتدعى هذه العملية كذلك الحدوث (Materialization). كما ان طاقة الفوتون يجب ان تكون اعلى من كتلتي الجسيمتين معا. ومبدأ الحفاظ على الزخم والطاقة يمنع ذلك من الحدوث في الفراغ (Free Space) ويجب ان تكون هنالك نواة او الكترون لغرض حدوث هذه الفعالية.

تشتت كومبتن (Compton scattering)

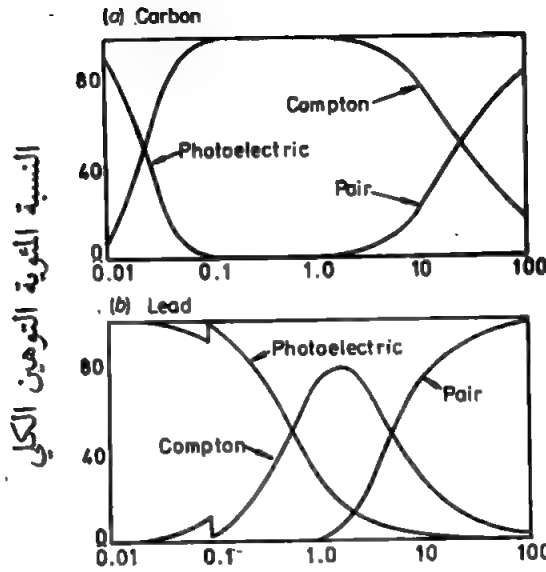
وفي هذا التشتت فان الفوتون الساقط يتفاعل مع واحد من الالكترونات الحرة التي في المدار الخارجي للنواة وهذه الفعالية هي فعالية غير مرنة من ناحية ان بعض الطاقة الحركية الاولية للفوتون يحتاج لها لغرض التغلب على طاقة ارتباط الالكترون بالنواة ولهذا فهي لا تظهر على شكل طاقة حركية للنواتج ومع ذلك فان الفعالية تعامل على انها مرنة وذلك بسبب ان طاقة الارتباط تكون صغيرة مقارنة بطاقة الفوتون الساقط .

ويتضمن تفاعل كومبتن الاتحاد بالكترونات مدارية ولذلك فانه من المعتاد التعبير عن معامل التوهين بمصطلح المقطع العرضي للتشتت والامتصاص.

ان الفوتون ذا الطاقة $h\nu_0$ سوف يرتطم بالالكترن الذي يمكن اعتباره حرا.

الاهمية النسبية للفعاليات الكهروضوئية وكومبتن وانتاج الزوج

تسود التفاعلات الكهروضوئية جميع المواد عندما تكون طاقة الفوتونات واطئة. ولكن عند زيادة الطاقة فان التأثير الكهروضوئي يهبط بصورة اوسع من تأثير كومبتن حيث ان الاخير يسود في النهاية وباستمرار الزيادة في طاقة الفوتون وبالرغم من ان تأثير كومبتن يتناقص بصورة مطلقة فانه يزداد اكثر نسبة الى التأثير الضوئي ولكن عند بلوغ طاقة الفوتون عدة MeV فان فعالية انتاج الزوج تبدأ بالمساهمة بالجزء الاعظم لتفاعل الفوتونات وهذه الحالة موضحة في الشكل 3.1 حيث يمثل أ الكاربون الذي يمثل الاعداد الذرية المهمة في علم الحياة ومقاييس الجرعة و (ب) الرصاص الذي يمثل المواد ذات الاعداد الذرية العالية كما ان ما يلاحظ هو ان لمادة ممثلة لعدد ذري واطىء تسود فعالية كومبتن من نحو 25keV لغاية 25MeV وهو مدى الطاقة الذي يغطي معظم استعمالات الاشعة السينية واشعة كاما في الطب.



أ - الكربون

ب - الرصاص

طاقة الفوتونات (مليون الكترون فولت)

الشكل 3.1 الاحتمالية النسبية للتأثيرات المختلفة للفوتونات التي لها طاقات مختلفة في الكربون والرصاص

المصدر J.R. Greening (1981) 28

1.3.2 تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة

(The Interaction of charged particles with matter)

عندما تتفاعل الاشعة المؤينة مع المادة فان الطاقة تنتقل من الاشعة الساقطة الى المادة وتكون المرحلة النهائية لهذا الانتقال خلال وسط الجسيمات المشحونة بغض النظر عما اذا كان الاشعاع الساقط جسيمات او موجات كهرومغناطيسية نقية. لهذا فان دراسة تفاعل الجسيمات المشحونة اساسي لفهم جميع تفاعلات الاشعاع.

عندما تجتاز الدقائق المشحونة ذرات الهواء ينتج ارتطام مرن (Elastic collision) وارتطام غير مرن (Inelastic collision) مع الذرات والجزيئات.

تحاول الجسيمات الثقيلة ان تقوم بعدد كبير من التفاعلات الصغيرة خلال مسارها خلال المادة بينما تقوم الالكترونات بعدد اقل من التفاعلات. وفي كلتا الحالتين فانه سوف يكون هنالك عدد كبير من الالتقاءات وان الطاقة المفقودة من الجسيمات سوف يكون لها اختلافات احصائية ولو جرى فحص مسار الجسيمات المفردة فانه سوف نجد ان عدد التاينات لوحدة طول المسار وهو ما يدعى بالتاين (Specific ionization) يتغير مع عمق المادة الممتصة ويرتفع بصورة تدريجية الى قمة وبعدها تهبط بسرعة الى الصفر. وهذا المنحنى البياني يدعى منحنى براج (Bragg curve) وتعرف القمة بقمة براج. يُولد الارتطام المرن انحرافات والارتطام غير المرن يُولد ايونات موجبة والكترونات يرمز لها عادة «بالزوج الايوني (Ion pair) ومتوسط الطاقة المصروفة لتكوين الزوج الايوني تبلغ نحو 35V بحيث ان جسيمة الفا ذات طاقة 3.5 MeV تولد نحو 10^5 زوج ايوني في الهواء قبل ان تصرف كامل طاقتها وتستقر.

ان توليد الزوج الايوني بواسطة الدقائق المشحونة يتم بواسطة تفاعلات كولومب (Coulomb interactions) ان جسيمة الفا تكون اثقل بنحو 7000 مرة من الالكترون وهي نادرا ما تنحرف عن مسارها المستقيم وذلك

لقربها من نواة الذرة. ان جسيمات بيتا لها نفس الكتلة (ما عدا في السرعة العالية) حيث تتم ازالة الالكترونات الذرية بواسطة التاين. ان مسار جسيمات بيتا يكون متعرجا وغير مباشر بالمقارنة مع المسار لجسيمات الفا. ان الجسيمات المشحونة تتفاعل مع الوسط عند مرورها به بالدرجة الاساس بواسطة ثلاث طرائق مختلفة.

أ - بواسطة ارتطام مع ذرة باكملها

ب - بواسطة ارتطام مع الكترون

ج - بواسطة فعاليات اشعاعية (اشعاع الايقاف)

تعتمد طريقة التفاعل الى درجة كبيرة على طاقة الجسيمات وعلى المسافة لأقرب طريق للجسيمة الى الذرة التي تتفاعل معها. واذا كانت المسافة لأقرب طريق كبيرة مقارنة بالابعاد الذرية فان الذرة باجمعها تتفاعل مع مجال الجسيمة المارة. ان هذا يسبب تهيج وتاين الذرة، ان قوة كولومب هي قوة التفاعل الرئيسة وان الجسيمة المارة تعتبر شحنة نقطية (Point charge) وان هذه الارتطامات البعدية تدعى كذلك الارتطامات الطرية (Soft collisions) أما اذا كانت المسافة لأقرب طريق مشابهة للابعاد الذرية فان التفاعل يكون بين الجسيمة المشحونة المتحركة وواحد من الالكترونات الذرية، ان هذه الفعالية ينتج عنها قذف الكترون من الذرة بطاقة كبيرة وغالبا ما يعبر عنها بالمصطلح ضربة خلال الفعالية (Knock - on process) وتدعى كذلك الارتطامات الصلبة (Hard collisions) وبصورة عامة فان الطاقة التي يحصل عليها الالكترون الثاني تكون كبيرة مقارنة بطاقة الارتباط وان الفعالية يمكن ان تعامل بصفة ارتطام الكترون حر.

3.3.1 تفاعل النيوترونات مع المادة

(Interaction of Neutrons with matter)

لا يظهر تفاعل النيوترونات مع المادة التغيرات المتسلسلة مع الطاقة والعدد الذري التي هي من خواص معظم تفاعلات الفوتونات مع المادة

ولهذا فانه من الصعب التعقيم . ان التحدث عن تفاعل النيوترونات مع المادة سوف يتركز في الامور المتعلقة بالوقاية من الاشعاع واستعمال النيوترونات في العلاج .

تولد النيوترونات عند تفاعلها (ما عدا الضوئي النووي غير المجهّم) الكترونات ذات سرع عالية في المادة المشعة فان تفاعلات النيوترونات تولد مجالا واسعا من النوى المرتدة من الجسيمات الذرية الثانوية (Subatomic Particles) بالاضافة الى توليد فوتونات تخضع لجميع التفاعلات التي ذكرت وتقوم الجسيمات المشحونة المختلفة التي تولد من قبل النيوترونات باعطاء طاقتها بطريقة مغايرة لها مترتبات بايولوجية مهمة .

ارتطام النيوترونات (Neutron collisions)

عند دراسة تفاعل النيوترونات عند اختراقها الوسط فانه يجب ان لا يغيب عن ذهننا أن النيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية وان لها كتلة اكبر قليلا من كتلة البروتون وبما ان النيوترون ليس مشحونا فانه لا يفقد الطاقة بطريقة تايين متقاربة المسافات مباشرة كما يحدث للجسيمات المشحونة مثل البروتونات وهي ليست كهرومغناطيسية مثل فوتونات كاما وهي بهذا لا تتفاعل مع الالكترونات في الوسط والنيوترونات تسير خلال الوسط بلا تفاعل الى ان ترتطم مع نواة الذرة كما ان الارتطام يشمل جسمي المادتين ويحكم بواسطة قانون الحفاظ على الزخم والطاقة . والطاقة القصوى المنقولة التي يمكن ان تنتج تحدث عندما يرتطم النيوترون مع نواة الهايدروجين (بروتون) التي يكون لها نفس الكتلة تقريبا . ان كمية الطاقة المنقولة تعتمد على اتجاه البروتون المرتد والنيوترون المرتد بعد الارتطام واذا كان البروتون يقذف الى الامام بصورة مباشرة فانه سوف يسلم كل الطاقة للنيوترون الى ان يخلد الى السكون بدوره . وتصبح الذرات المشحونة الطاقة المرتدة مشحونة بسرعة وبسبب كتلتها الكبيرة فانها تسير بسرعة بطيئة نسبياً .

وتفقد الطاقة بمعدل سرعة كبيرة اي ان تاينها له صفة فقدان الطاقة الخطي العالي (High linear energy transfer) وتمثل الطاقة من الذرات المرتدة اهم آلية (ميكانيكية) تولد فيها النيوترونات التلف في الانسجة. ان ذرات الهيدروجين تتسلم معظم الطاقة من النيوترونات المارة خلال النسيج وتولد معظم التلف بصفة بروتونات مرتدة وذلك بسبب توفر الهيدروجين والاحتمالية الكبيرة للتفاعل بين النيوترونات ونوى الهيدروجين مقارنة بالنوى الاخرى الموجودة كما ان التلف الاخر ينتج من ارتداد الكربون والاكسجين وجزء من اشعة كاما والنيوترونات المتحررة بواسطة النيوترونات ذات الطاقة الواطئة في النايروجين.

ان الارتطام بين النيوترونات والعناصر الخفيفة التي في النسيج (في طاقة النيوترونات ليضعة MeV اقل بصورة عامة) تمثل حدوث التعرض للنيوترونات وهي تكون مرنة اي ان الطاقة الحركية للجسام المصطدمة يتم الحفاظ عليها خلال الارتطام. اما بالنسبة الى الجسيمات الاثقل فان بعض الطاقة الحركية للنيوترونات ربما يتم نقلها الى الطاقة الداخلية للنواة وفي هذه الحالة التي يشار اليها بالارتطام غير المرن فان الطاقة الحركية التي يمكن ادخالها الى الذرة سوف يتم اختزائها.

كما ان النواة المتهيجة سوف تحرر طاقة التهيج على شكل فوتونات كاما والجسيمات الاخرى كما ان الارتطام غير المرن له اهمية في توهين النيوترونات ولكنه لا يؤدي دوراً مهماً في انتاج التلف في الانسجة الحية.

الارتطامات المرنة (Elastic collision)

ان ايسط الفعاليات هو ارتطام نيوترون مع نواة، والنيوترون يجري صرفه مع بعض فقدان للطاقة التي تنتقل الى النواة المرتدة كما ان انتقال الطاقة يكون على اشدّه عندما تكون كتلة النواة المضروبة هي الاقل وهذا ما يحدث لنواة الهيدروجين (البروتون) الذي تكون كتلته مقاربة جداً للنيوترون

ويهبط المقطع العرضي لهذه النواة بسرعة كبيرة جداً وسلاسة للواحد أو الاثنين MeV الاولى وبعدها يهبط بصورة أكثر بطئاً في الطاقات الأعلى. ويظهر المقطع العرضي للمواد البايولوجية المهمة الأخرى مثل 0 و N و C بنفس الاتجاه ولكن يكون له عدة قمم رنانة يتم تطابقها على منحنى سلس.

الارتطامات غير المرنة (Inelastic collisions)

من الممكن أسر النيوترون فوراً بواسطة النواة ويعد ذلك يتم بعثه مع استنفاد الطاقة تاركاً النواة في حالة تهيج كما ان النواة ربما ترجع الى الحالة الأرضية بواسطة اطلاق اشعة كاما ويحدد تشتت النيوترون - النواة غير المرنة بحالتين هما:

أ - تكون جسيمات التفاعل (Constellations) الاولى والنهائية متناظرة ماعدا ان النواة الناتجة تكون في حالة متهيجة .

ب - تكون الطاقة الحركية الكلية للجسيمات اقل من مجموع الطاقة الحركية للجسيمات الابتدائية بمقدار مساو الى طاقة التهيج للنواة الناتجة . ان النواة الناتجة في حادثة التشتت غير المرنة تبعث عادة واحداً او اكثر من اشعة كاما للوصول الى الحالة الأرضية .

ان معظم اشعة كاما في الارتطام غير المرنة تنبعث خلال وقت قصير جداً يكون اقل من 10^{-10} ثانية بعد التفاعل وفي بعض الحالات النادرة فان النواة الناتجة تصل الى حالة شبه مستقرة (Metastable state) والتي يحدث فيها انبعاث كاما بعمر نصف اكبر كثيراً. والتشتت غير المرنة لا يمكن ان يحدث ما لم يكن النيوترون الساقط له طاقة عالية بما فيه الكفاية بحيث ان الطاقة المتيسرة تكون اعظم من الطاقة للحالة المتهيجة الاولى في النواة الهدف.

التشتت الصلب (Nonelastic scattering)

ان مصطلح التشتت الصلب غالبا ما يستعمل عندما تكون الجسيمة الناتجة من التفاعل ليست نيوترونا. وبالنسبة للعناصر المهمة من الناحية البايولوجية مثل الكربون والاكسجين والنايتروجين فان التشتت غير المرن والتشتت الصلب يكون له طاقة حد خرج في المجال $4 - 12 \text{ MeV}$ ويرتفع المقطع العرضي بصورة حادة عندما يتم تجاوز الحد الحرج للطاقة ويصل الى قيمة ثابتة تقريبا لطاقة $15 - 10 \text{ MeV}$.

فعاليات الاسر (Capture processes)

ان النيوترونات الحرارية (Thermal Neutrons) التي هي في حالة توازن حراري مع المادة التي لها طاقة 0.025 eV يتم اسرها بواسطة النواة ويتناسب مقطع التفاعل العرضي غالبا بصورة عكسية مع سرعة النيوترون بطاقات اعلى من 0.025 eV .

معاملات التفاعل (Interaction coefficients)

ان اكثر كمية التفاعل فائدة في مجال قياس النيوترون هو معامل انتقال طاقة الكتلة μ_{tr}/ρ وهنالك سببان رئيسان لذلك الاول هو انه بضرب هذا المعامل بدفق الطاقة فاننا نحصل على الكمية كرمما (Kerma) وان هذا يعطي مقياسا لمجال الاشعاع للنيوترونات وقد استعمل بطريقة مرادفة لتلك لمفهوم التعرض في حالة المجال الفوتوني والثاني انه بالتشعيع بالنيوترونات فان تغيرات الجسيمات المشحونة غالبا ما تكون صغيرة مقارنة بابعاد الحجوم المعنية وفي هذه الحالات فان الكرمما تساوي الجرعة الممتصة التي هي الهدف الرئيس لمقاييس الاشعاع.

وإذا كانت σ هي المقطع العرضي لنوع معين من تفاعل النيوترون مع ذرة لها كتلة معيارية M فإن معامل توهين الكتلة μ/ρ يعطي بالمعادلة

$$\frac{\mu}{\rho} = N_A \frac{\sigma}{M} \quad (1.10)$$

وإن معامل انتقال الكتلة μ_{tr}/ρ لتفاعل معين يعطي بالمعادلة

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{N_A \sigma \bar{E}_{tr}}{M E_N} \quad (1.11)$$

حيث تكون \bar{E}_{tr} هي معدل الطاقة المنتقلة الى طاقة حركية للجسيمات المشحونة بالنيوترونات ذات طاقة E_N ومجموع معامل انتقال طاقة الكتلة يساوي مجموع جميع المصطلحات الواردة في معادلة انتقال الكتلة الواقعة على الجهة اليمنى. ان المقطع العرضي يكون ضروريا لحساب \bar{E}_{tr}/E_N لكل تفاعل وفي حالة التشتت المرن المهمة فان ذلك يعطي بالمعادلة

$$\frac{\bar{E}_{tr}}{E_N} = \frac{2 M_s m}{(M_s + m)^2}, \quad (1.12)$$

على فرض ان التشتت هو متساوي الخصائص في جميع الجهات (Isotropic) في مركز نظام الكتلة. اما التفاعلات الاخرى مثل التشتت غير المرن والتشتت الصلب فان الامر يكون معقداً جداً.

الفصل الثاني
طرائق قياس الجرعة

Methods of Dosimetry

الفصل الثاني

طرائق قياس الجرعة

(Methods of Dosimetry)

تجري معظم القياسات الكمية لكميات الاشعة المؤينة لغرض ايجاد او استعمال العلاقة العددية بينها وبين التأثيرات البايولوجية والكيميائية او الفيزيائية المتولدة بفعل الاشعاع.

ان التأثير الاشعاعي يمكن ان يحدث فقط عند انتقال الطاقة من الاشعاع الى بعض المواد التي يجري تشعيها كما ان من المحتمل ان يكون التأثير مختلفا فيما اذا اضيفت كمية معينة من الطاقة الى كتلة صغيرة من المادة بدلا من توزيعها على كتلة كبيرة. ومن اكثر كميات مقاييس الاشعاع استعمالا كمية الطاقة المضافة مقسومة على الكتلة ذات العلاقة كما ان هذا المقياس يدعى الجرعة الممتصة. يتألف اي نظام لقياس الاشعاع من قسمين الاول هو الكاشف (Detector) والاخر هو جهاز القياس (Measuring apparatus).

ان تفاعل الاشعاع مع الكاشف اما ان يولد اشارة في الكاشف او انه يولد تغيرا في خواصه. ان جهاز القياس يؤدي العمل المطلوب استنادا الى هذه الاشارة او التغير لتخمين الكمية ذات الاهتمام المرتبطة بالاشعاع. ان هذه الكمية ربما تكون جرعة (dose) او معدل جرعة (Dose rate) او دفع (Fluence) او فعالية (Activity) او طاقة او نوع اشعاع وهكذا.

كما ان نظام كشف الاشعاع ربما يتم تصنيفه فيما اذا كانت طريقة عمله تعتمد على النبضة (Pulse) او عدم النبضة (Non pulse) وفي النوع الذي يعتمد على النبضة فان كل نبضة مفردة تمثل تفاعل جسيمة نووية مفردة او فوتون مع الكاشف وفي عملية عدم النبضة فان الاشارة تمثل المتوسط او التأثير الكلي لعدة تفاعلات للاشعاع مع الكاشف.

والاشعة التي تهمننا في مجال الوقاية من الاشعاع هي اشعة كاما والاشعة السينية التي تؤين بصورة غير مباشرة خلال الالكترونات المتحررة من خلال التفاعلات الكهروضوئية (Photoelectric interaction) وكومبتن (Compton interaction) وانتاج الزوج (Pair production interaction). ان النيوترونات المهمة كذلك في مجال الوقاية من الاشعاع لا تؤين بصورة مباشرة كذلك ولكن الكشف عنها يجري بواسطة نواتج الاشعاع الثانوية الناتجة بواسطة تفاعلها مع نوى الذرات. ان هذه الاشعاعات الثانوية ربما تكون من الانواع المنوه عنها اعلاه واستنادا الى نوع التفاعل وبالإضافة الى الجسيمات المشحونة مثل جسيمات الفا وبيتا التي تؤين المادة بصورة مباشرة ويمثل (الجدول 1.2) المواد المشعة المهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع وبعض خواصها.

الجدول 1.2 انواع الاشعاعات المهمة في مجال الوقاية من الاشعاع مع بعض خواصها

نوع الاشعاع	الرمز والشحنة	كتلة الاستقرار Rest Mass (amu)	التاين الخاص زوج ايون	المدى في الهواء Mev
			سم هواء	سم
الفا (alpha)	α +2	4	5×10^4	0.5
بروتون (Proton)	P 0	0	1×10^4	2.2
الكترون بيتا (electron) B^-, e^-	-1	5.5×10^{-4}	50	370
بوزترون (Positron) B^+, e^+	+1	5.5×10^{-4}	50	
كاما (gamma)	γ 0	0	-	$\frac{1}{4} \times 10^4$
سينية	x 0	0	-	$\frac{1}{4} \times 10^4$
نيوترونات (n) Neutrons	n 0	1	-	$\frac{1}{4} \times 10^4$

المصدر 86 (1979) Martin & Harbison

1.2 قياس دفق الطاقة والتوزيع الطيفي

(Measurements of fluence and energy distributions)

ان قياس توزيع الدفق والطاقة يمكن ان يجري بصورة سريعة في حالة شعاع الجسيمات المسددة باتجاه واحد

(Collimated mono - directional beam of particles)

حيث يتم توجيه الشعاع المسدد الى كاشف مناسب له كفاءة كشف معلومة. تكون كفاءة معظم الكواشف دالة لطاقة الجسيمة ولذلك يتطلب تفسير النتائج معرفة هذه الدالة وكذلك توزيع الطاقة للجسيمات وجميع هذه المعلومات ربما لا تكون متوفرة، لهذا تستعمل كواشف ذات كفاءة مقاربة للواحد لجميع الجسيمات بغض النظر عن طاقاتها وتدعى مثل هذه الكواشف اجهزة الامتصاص الكلي (Total absorption devices). واذا لم يكن بالامكان الحصول على امتصاص كلي، يمكن استخدام كاشف يمتص كمية قليلة جدا من الاشعاع واعتبار توزيع الدفق والطاقة منتظما داخل الكاشف ويمكن استخدام هذه الكواشف للكشف عن اشعاعات متعددة الاتجاهات، ومن الناحية التطبيقية فان المرء يقيس واحدة من كميات مقاييس الجرعة مثل الجرعة الممتصة (Absorbed dose) والكرما (Kerma) والتعرض (Exposure) ريثب دفق الطاقة من هذه العلاقات بين الكميات ودفق الطاقة ومعامل التفاعل

2.2 انواع مقاييس الجرعة

1.2.2 حجرة التاين (Ionization chamber)

يؤدي مرور الجسيمات المشحونة خلال غاز الى تاين الغاز مكونا الالكترونات حرة وايونات موجبة اضافة الى ذلك تتكون ايونات سالبة نتيجة

ارتباط الكترولونات حرة بذرات وجزيئات الغاز المتعادلة الشحنة وعند تسليط فولتية (Voltage) عبر اقطاب حجرة التاين / فان الايونات الموجبة والايونات السالبة (الالكترولونات) سوف تنحدر باتجاه الاقطاب ذات الشحنات المخالفة لشحنتها حيث يجري تجميعها وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي الجامع واطثا فان بعض الايونات سوف تقابل الايونات الاخرى ذات الشحنات المخالفة لها وتتحد معها مكونة جزئيات متعادلة اما اذا زيد المجال في حجرة التاين فان الايونات تنحدر بسرعة اكبر كثيرا باتجاه الاقطاب وبهذا يكون الوقت المتاح للاتحاد قد قل وان الجزء من التاين الكلي الذي يجري تجميعه يزداد. وعندما تكون قوة المجال كبيرة بحيث انه يمكن القول ان جميع الايونات المتولدة قد جرى جمعها فان حجرة التاين يقال انها مشبعة كما ان من المهم ان تكون قوة المجال كافية للتأكد من ان فقد الاتحاد يمكن اهماله لاعلى شدة اشعاع يتطلب قياسها وعلى الشكل الهندسي لحجرة التاين (Chamber geometry). تعمل حجر التاين اعتياديا بعدم النبضة باستعمال اما التيار المؤين للدلالة على شدة الاشعاع او الشحنة الكلية المتجمعة للدلالة على كمية الاشعاع.

كما ان التعرض الى رونكن واحد يولد شحنة مقدارها 2.5×10^{-4} Coulomb لكل غرام من الهواء بدرجة حرارة صفر مئوية وضغط 760 ملمترزئبق. ان هذا يماثل 3.34×10^{-10} Coulomb لكل سم³ وبهذا فان معدل تعرض (Exposure rate) مقداره ملراد واحد في الساعة (1m R/h) يولد تيارا يساوي.

$$1mR/h = 0.93 \times 10^{-16} \times \frac{273 \times P}{T} \text{ amp/cm}^3 \dots (2.1)$$

في الهواء بضغط مقداره P ودرجة حرارة مقدارها T. كما ان اصغر تيار يمكن قياسه بصورة مقبولة مقيساً بجهاز مكبر محمول مستمر التيار (Portable D.C amplifier) في منطقة 1×10^{-4} امبير وبهذا فانه من الضروري ان يكون حجم حجرة التاين عدة مئات من السنتيمترات المكعبة فيما اذا اريد

قياس مستويات اشعاع مقدارها ملراد واحد في الساعة. يضع قياس مثل هذا التيار الصغير مواصفات شديدة على متطلبات العزل للاجهزة وعلى العازل المستعمل لحمل نظامين القطب حيث ان تيار التسرب (Leakage current) يجب ان يكون صغيرا مقارنة بتيار التاين ولغرض توضيح هذه المسألة فان مقاومات (Resistors) خاصة تغلف بصورة اعتيادية باغلفة زجاجية مفرغة تتطلب وضعها في ناتج المكبر (Amplifier input) التي لها مقاومة (Resistance) مقدارها 1×10^{10} الى 1×10^{12} اوم (Ohms). ان حجم المقاومة لعدة عوازل يكون كافيا لاعطاء 1×10^{20} Ohm cm ولكن التسرب السطحي يولد مشكلة. ان السطح يجب ان يكون جافا ويتم هذا باستعمال مواد ماصة للرطوبة (desiccants) بالاضافة الى الحفاظ عليه من الخدوش ولقد استعمل العمبر (Amber) لذلك سابقاً وتستعمل الان مادة PTFE ومادة Polystyrene بصورة عامة.

كما ان الناحية الاخرى التي يجب اخذها بنظر الاعتبار هي تأثير المادة العازلة على التيار الذي يؤدي الى ظهور التيار خلال العازل حيث يحدث اما اجهاد كهربائي او اجهاد ميكانيكي.

2.2.2 الوامضات والعملية الوامضية Scintillators and scintillation process

هنالك عدد من المواد التي تظهر الخواص الوامضية عندما تعرض الى الاشعة المؤينة. ان من الممكن تقسيم المواد الوامضية الى اربعة اقسام رئيسية هي

1 البلورات العضوية (Organic crystals) مثل الانثرسين (Anthracene) والسثيلين (Stilbene)

2 المحاليل السائلة للمواد العضوية

(Liquid solutions of organic materials)

وتدعى كذلك الوامضيات السائلة (Liquid scintillators) مثل المذيبات

Xylene و Toluene والمواد الذائبة ومنها

2,5 - diphenyl - oxazole terphenyl

3. المحاليل الصلبة للمواد العضوية

(Solid solutions of organic materials)

وتدعى كذلك الوميضات البلاستيكية (Plastic Scintillators) حيث يكون قسم منها موادا ذائبة مثل P-terp phenyl والمذيبات مثل polystyrene و polyphenyl chloride .

4 - البلورات المنشطة غير العضوية (Activated inorganic crystals)

مثل Zn S (Ag) و Cs I (TI) و NaI (TI) و Li I (Eu) .

وبالإضافة الى ذلك فان الغازات النبيلة وبعض انواع الزجاج ذات التركيب الخاص قد جرت دراستها لاستعمالها بصفة وامضات ولكن لحد الان لم تظهر لها تطبيقات عملية واسعة .

بالرغم من الدراسات المستفيضة لعملية الوميض (Scintillation Process) فانها لازالت غير مفهومة بصورة كاملة وانها تختلف باختلاف انواع المواد الوميضية .

ومن الممكن الاستفادة من هذه الظاهرة لقياس الاشعاع ويتم ذلك من خلال سلسلة من اربع فعاليات اساسية هي

- 1 - تفاعل الجسيمات المشحونة او الفوتونات مع الكاشف مما ينتج عنه تاين .
- 2 - تحويل طاقة الجسيمات المشحونة الى كمية تناسبية من الضوء بواسطة المادة الوميضية .

3 - تحويل الضوء المنبعث من مادة الوميض الى الكترونات ضوئية (Photoelectrons) في القطب السالب الضوئي للانبوب الضوئي .

4 - مضاعفة (تضخيم) العدد الاولي من الالكترونات الضوئية الى نبضة تيار كهربائي مقيسه .

ان جسيمة مشحونة مثل الفا وبيتا تسقط على الكاشف او الكترون يتميخ في الكاشف بعد تفاعله مع الفوتون القادم سوف يقوم بتفريغ كل طاقته ضمن المادة الوميضية على ان تكون ابعاد هذه المادة اكبر من مدى الجسيمة .

تؤدي فعالية الوميض الى ان جزءاً من هذه الطاقة يبعث على شكل فوتون في منطقة الضوء المرئي. او المنطقة فوق البنفسجية للطيف الكهرومغناطيسي كما ان عدد الفوتونات P التي لها متوسط طاقة مقداره $h\nu$ الناتجة من الطاقة الممتصة E ضمن المادة الومضية ربما تكتب

$$P = \frac{E}{h\nu} \quad \text{.....(2.2)}$$

والكمية E ترمز الى الكفاءة الداخلية للمادة الومضية وبعد ان يتم تهيج المادة الومضية بواسطة حادثة مفردة فان بعث الفوتون المعتمد على الزمن يتبع قانوناً اسياً مثل

$$P(t) = \text{Constant } e^{-\frac{t}{T}} \quad \text{..... (2. 3)}$$

حيث تمثل $P(t)$ عدد الفوتونات الكلي المنبعث لزمان مقداره t ان زمن الانحلال T هو خاصية مادة الوميض وهو الذي يحدد زمن الارتفاع (Rise time) للنبضات المتولدة في ناتج الانبوب الضوئي . تكون مواد الوميض العضوية سريعة الانحلال حيث يبلغ زمن الانحلال 1×10^{-8} ثانية او اقل اما مواد الوميض غير العضوية فان زمن الانحلال يبلغ 2.5×10^{-7} ثانية لمادة NaI (Tl) مثلاً. وبالإضافة الى ذلك فان احد العوامل المهمة في استعمال المادة بوصفها كاشفاً هو امتصاص الضوء المنبعث في فعالية الوميض عند قطعها للمادة وبسبب وجود التفاعل القوي بين الذرات المتجاورة في المواد الصلبة او السائلة فان الطاقة للذرة المثيجة سرعان ما تنتشر بها الذرات المحيطة وبهذا تنفقت وتؤدي الى ظهورها بصفة طاقة لحركة جزيئية (Molecular motion) او حرارة.

في حالة المواد غير العضوية فان اضافة كمية من الشوائب بصورة مسيطر عليها سوف يؤدي الى حدوث عيوب في تركيب البلورات (Crystal lattice) التي تعمل على شكل مراكز صيد. ان كلتا الطائفتين التنبهين والتهيج يمكن ان تنتقل من ذرة الى اخرى في التركيب البلوري وان بعضها

سوف يصل الى مركز الصيد قبل تفتته. وعند الوصول الى مراكز الصيد فان هذه المراكز ترتفع الى حالة الهيجان. ان طاقة التهيج سوف يحتفظ بها لفترة زمنية كافية لكي يعود المركز الى الحالة الارضية مع بعث فوتون الذي يكون له في المواد الوميضية طاقة مناظرة لمنطقة الاشعة فوق البنفسجية او لمنطقة الطيف المرئي. ان اطلاق الفوتونات ياخذ وقتا مقداره 1×10^{-9} ثانية ولكن اذا كانت الحالة المتتهيجة مرحلية فان الانبعاث ربما يعرقل وان انبعاث الضوء يتوزع على عدة اجزاء في المليون من الثانية او اكثر (لبعض المواد ربما تكون هذه الفترة ساعات او ايام مما يعطي ظاهرة التلألؤ (phosphorescence). ان الناتج الضوئي لمادة وميضية جيدة يبلغ نحو 20 eV الى 60 eV من الطاقة المصروفة بواسطة الجسيمات المشحونة لكل واحد من فوتونات الضوء المنتجة. ان من الامور المهمة التي يجب اخذها بنظر الاعتبار في الكاشف الوميضي النقل الكفوء لفوتونات الضوء المنتجة من المواد الوميضية الى القطب السالب الضوئي للمكبر الفوتوني.

الانابيب المكبرة الضوئية (Photomultiplier tubes)

ان القطب السالب الضوئي (Photo cathod) للمكبر الضوئي المستعمل في الكواشف الوميضية يتكون عادة من طبقة من مادة دقيقة جدا شبه دقيقة مثل Cs - Sb و Cs - K و Na - K - Cs مرسبة على السطح الداخلي لنافذة انبوب المكبر الضوئية. ان كفاءة التحويل (Conversion efficiency) تمثل النسبة بين عدد الالكترونات الضوئية المنبعثة الى عدد فوتونات الضوء الساقطة في المنطقة التي يكون فيها الطول الموجي 450nm وتكون النسبة 20 - 30% ضمن الاستجابة القصوى وهذه الاقطاب الضوئية السالبة لها استجابة طيفية (كفاءة تحويل بدلالة الطول الموجي) مطابقة بصورة معقولة الى اطوال الموجة للضوء المنبعث بواسطة معظم المواد المستعملة بصفة مواد وميضية 400nm - 500nm لاعطاء كفاءة كلية مقدارها 10%

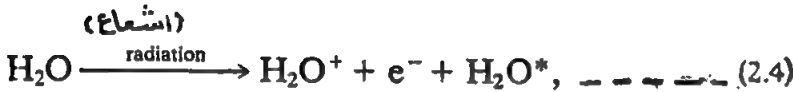
كما ان الالكترونات المتحررة على القطب السالب الضوئي يجري تعجيلها الى مجموعة الازرار (Dynodes) التي تكون مغلفة بمادة الانتموني الحاوي على السيزيوم (Antimony - Caesium) حيث تكون بحالة فرق جهد عال متواصل (Successively higher potential) ويجري تحرير عدة الكترونات بواسطة الانبعاث الثانوي لكل الكترون يرتطم بالازرار. ان هذه الالكترونات يتم تعجيلها الى الازرار اللاحقة حيث يجري اعادة العملية. والمكبر الضوئي قد يحوي على عشرة من هذه الازرار كما ان التكبير باربعة لعدد الالكترونات في كل واحدة من المراحل يعطي تكبيرا مقداره 4^{10} او 10^6 وهو ما يسهل الحصول عليه وتزداد درجة التكبير في كل مرحلة مع زيادة فرق الجهد المعطى خلال الازرار وبهذا فان طاقة الالكترونات المرتطمة تزداد لغاية الوصول الى حد اقصى عريض. ان الفولتات الاعتيادية المستعملة هي 50 Volt الى 150 Voits لكل مرحلة كما ان التكبير النهائي يتغير بصورة تقريبية مثل V^n حيث تتراوح قيمة n بين 7 الى 9 .

3.2.2 الطريقة الكيميائية لقياس الجرعة (Chemical dosimetry)

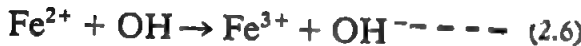
عند امتصاص الاشعة المؤينة من قبل المواد فان هذه المواد ربما تتغير كيميائيا واذا امكن معرفة هذا التغير فانه يمكن ان يستعمل مقياسا للاشعاع. هنالك اعداد كبيرة من مقاييس الاشعاع الكيميائية التي تم اقتراحها ولكن قسما قليلا منها فقط تعدى استعماله حدود المختبر الذي استعمله اولاً. ان هذا القول لا ينطبق على النظام المقترح من قبل العالم Fricke ومساعديه في سنة 1927 حيث اوجد طريقة كيميائية لقياس الجرعة تدعى مقياس جرعة فريكة (Fricke dosimeter) وتدعى كذلك مقياس جرعة سلفات الحديدوز (Ferrous sulphate dosimeter) وهذا المقياس يتألف بصورة اساسية من محلول سلفات الحديدوز في حامض الكبريتيك المخفف المشبع بالهواء. كما ان ايونات الحديدوز Fe^{2+} تجري اكسدتها بواسطة الاشعاع الى ايونات الحديديك Fe^{3+}

(Ferric ions) ان محاليل مقياس الجرعة هذه تتألف من 96% ماء في الاقل ونتيجة لذلك فان الاشعاع يتفاعل بصورة تكاد تكون كلية مع الماء بقذف الكترولونات مما يؤدي الى ترك جزيئات الماء المتأينة وكذلك جزيئات الماء الناتجة ورمزها H_2O^* في حالة تهيج الى مستوى اعلى من حدود الكسر لاصرة $H - OH$.

ومن الممكن وصف التفاعل على النحو الاتي :



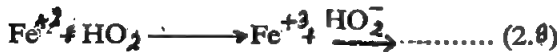
ان ايونات الحديدوز يجري اكسديتها الى ايونات الحديدك بواسطة جذر الهيدروكسيل



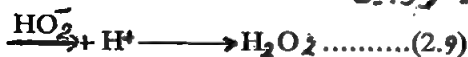
بالاضافة الى ان ذرة الهيدروجين تتفاعل مع الاوكسجين المذاب لاعطاء جذر الهيدروجين



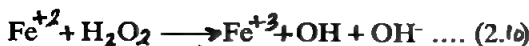
الذي يقوم باكسدة ايونات الحديدوز



مما يؤدي الى توليد بيروكسيد الهيدروجين



الذي يولد ايونات الحديدك كذلك



الناتج الكيميائي للإشعاع وقيمة G

(Radiation chemical yield and G Value)

يجري ادخال الكمية الناتج الكيميائي للإشعاع $G(X)$ في مقياس الإشعاع الكيميائي لغرض قياس الجرعة الموازي الى $1/W$ وهو مقلوب متوسط الطاقة لكل زوج من الايونات في مقياس الجرعة بواسطة حجر التاين. ان الناتج الكيميائي للإشعاع قد عرف من قبل هيئة (ICRU) في عام 1980 بالكسر $\frac{n(X)}{E}$ حيث يمثل الرمز $n(X)$ متوسط كمية المادة ذات الكيان الخاص الناتجة او المحطمة او المتغيرة بواسطة متوسط الطاقة الداخلة E^- الى المادة. ان وحدتها في نظام SI هي mol J^{-1} لقد استعملت الكمية G لعدة سنوات خلت وهي حاصل قسمة متوسط عدد (العدد المعاكس لمقدار الطاقة) للكيانات الابتدائية (Elementary intities) الناتجة او المحطمة او المتغيرة والطاقة المضافة. لقد جرى التعبير عنها كعدد الكيانات لكل 100ev (ان الوحدة هي 100ev) ومن المحتمل ان تبقى هذه الوحدة رهن الاستعمال لغاية التحول التدريجي الى الناتج الكيميائي للإشعاع.

ان الكميتين لهما علاقة ببعضهما ببعض بواسطة المعادلة

$$\frac{G \text{ value}}{(100 \text{ eV})^{-1}} \times 1.0365 \times 10^{-7} = \frac{\text{radiation chemical yield}}{\text{mol J}^{-1}} \quad \text{--- (2.11)}$$

واذا امكن معرفة ناتج ايونات الحديدك كقياس عدد المولات مثلا فانه يمكن حساب الطاقة الممتصة عند معرفة الناتج الكيميائي للإشعاع.

ان ايونات الحديدك الناتجة يجري قياسها بصورة مباشرة بطريقة المطياف الضوئي (Spectrophotometry) لمحلول مقياس الجرعة الذي يظهر قمة امتصاص في مجال الاشعة فوق البنفسجية عند الطول الموجي

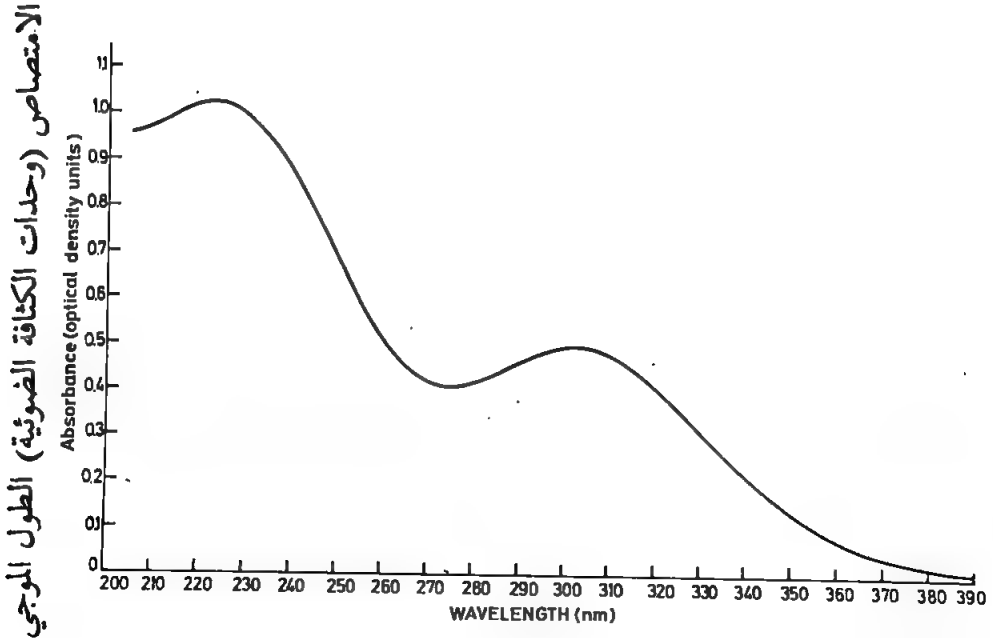
224nm و 304nm وتستعمل القمة الثانية عادة (الشكل 1.2)

تحسب الجرعة الممتصة D في محلول مقياس الجرعة من المعادلة

$$D = \frac{A - A_0}{\rho G(\text{Fe}^{3+}) l \epsilon_m} \text{ --- (2.12)}$$

حيث تمثل A_0 و A الكثافة الضوئية (Optical density) للمحلول قبل وبعد التشعيع وتمثل ϵ كثافة محلول مقياس الجرعة و $G(\text{Fe}^{3+})$ هي الناتج الكيميائي للاشعاع من ايونات الحديدك ويمثل L طول مسلك الضوء (Photometer cell) في الخلية الضوئية (Light path) و ϵ_m هو معامل الانطفاء المولي (Molar extinction coefficient) لايونات الحديدك حيث يساوي

$$\epsilon_m = \frac{A}{IC} \text{ (2.13)}$$



الشكل 1.2 طيف الامتصاص لمحلول Fricke المشع

المصدر IAEA (1978) 38

حيث يمثل C تركيز المذاب .

ويجب الملاحظة انه عند استعمال قيمة G بدلا عن الناتج الكيمياوي للاشعاع فان $A - A_0$ يجب ان تضرب بثابت افوكادرو (Avogadro constant) . ان الوحدة التي يجري التعبير فيها عن الطاقة على جانبي المعادلة يحتمل ان تكون مختلفة وفي هذه الحالة يستعمل معامل تحويل . واذا تم استعمال وحدات SI في جميع القيم التي على الجهة اليمنى من المعادلة فان الجرعة الممتصة يحصل عليها بوحدات الـ SI وتكون (Gy) gray

ان قيم G لمقياس جرعة Fricke قد جرى تقديرها من قبل عددا من الباحثين وان هذا يشمل قياس الاشعاع بواسطة نظام Fricke والنظمة اخرى مثل مقياس السرعات وحجر التاين . ويمثل الجدول 2.2 بعض هذه القيم التي تمثل الفوتونات ذات الطاقات الواطئة . اما بالنسبة الى قيم الفوتونات ذات الطاقة العالية والالكترونات فان هناك اختلافا ظاهرا بين نتائج مقياس السرعات وبين مقياس التاين ومن المعتقد ان هذا ينتج عن الخطأ في طريقة التاين لقياس الجرعة التي هي اكثر للفوتونات من الالكترونات .

الجدول 2.2 ناتج الاشعاع الكيمياوي وقيم G لكبريتات الحديدوز لبعض الفوتونات والاشعاع

قيم G (100 eV) ⁻¹	ناتج الاشعاع الكيمياوي G(Fe ³⁺)/μmol J ⁻¹	طاقة الفوتون KeV
12.5	1.3	5
12.7	1.32	6
13.0	1.35	8
13.2	1.37	10
13.6	1.41	15
13.8	1.43	20
14.1	1.46	30
14.3	1.48	40
14.4	1.49	50
14.5	1.50	60
14.6	1.51	80
14.7	1.52	100
15.3	1.59	الاشعاع ¹³⁷ Cs
15.4	1.60	2MeV
15.5	1.61	⁶⁰ Co
15.5	1.61	فوتونات 4 – 33 MeV
15.5	1.61	الكترونات 3 – 35 MeV

المصدر J.R. Greening (1981) 28

4.2.2 مقاييس جرع الوميض الحراري

(Thermoluminescence dosimetry)

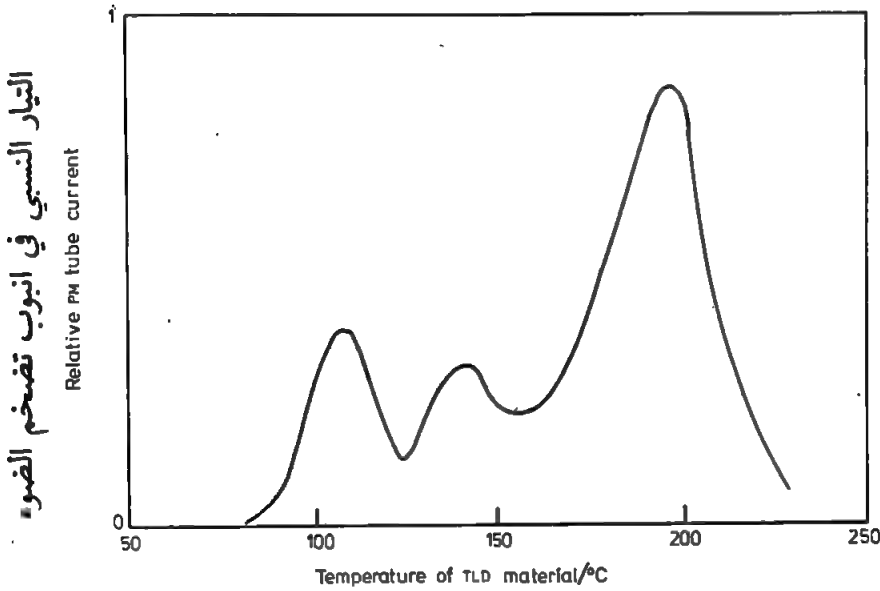
يعود الفضل في اكتشاف ظاهرة الوميض الحراري الى العالم الكيميائي Robert Boyle في سنة 1663 حيث كتب الى الجمعية الملكية (Royal Society) في لندن عن ملاحظته لضوء وهاج غريب عند احماء الماس في الظلام. وفي سنة 1705 وصف العالم Oldenberg ظاهرة الوميض الحراري في المعادن مثل الفلوريت. وفي سنة 1830 قام العالم Pearsall بوصف تأثير الكهرباء في المعادن التي تتوهج عند احماؤها. وفي سنة 1895 قام العالم Wiedmann بالكتابة عن استعمال الوميض الحراري الناتج من كبريتات الكالسيوم: المنغيز المصنعة لتحسس الاشعاع الناتج من التفريغ الكهربائي. اما استعمال ظاهرة الوميض الحراري في قياس الاشعاع المؤين فقد تمت من قبل العالم Tousey ومساعديه في سنة 1951 حيث تم قياس الاشعة السينية بالاضافة الى الاشعة فوق البنفسجية. وان من الممكن اعتبار عام 1953 هو البداية الحقيقية لاستعمال ظاهرة الوميض الحراري في قياس الاشعاع عندما قام العالم Daniels ومرافقوه باثبات جدواها.

يشمل الوميض الحراري خطوتين حيث يتم في الخطوة الاولى تعريض المادة الصلبة الى الاشعاع المهيج مثل الجسيمات او الاشعة الكهرومغناطيسية بدرجة حرارة ثابتة وفي الخطوة الثانية يتم قطع التهيج ورفع درجة الحرارة للنموذج المشع كما ان شدة الوميض بدلالة الحرارة يمكن ان يكون لها عدة قمم قصوى (الشكل 2.2) وهو يدعى منحني التوهج الوميضي الحراري (Thermoluminescence glow curve) ويسمى كذلك منحني التوهج للوميض المحفز حرارياً.

(Thermally Stimulated Luminescence glow curve)

ان ميكانيكية ظاهرة الوميض الحراري معقدة وبالرغم من وضع عدة

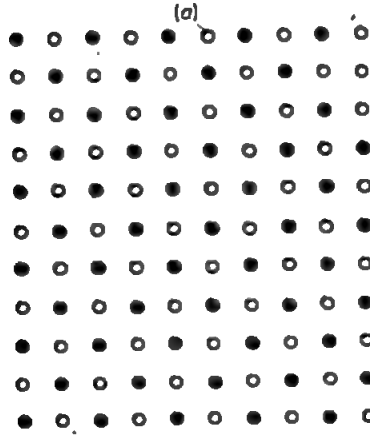
نماذج (models) نظرية لتفسير هذه الظاهرة الا ان الصعوبة تظهر عند الاخذ بنظر الاعتبار مادة مقياس الجرعة . كما ان احدى المشاكل الرئيسة عند التعامل مع النماذج هي ان كثيراً من الملاحظات المستقاة من التجارب يمكن ان تنتج فقط بمستويات عالية من الجرعة الممتصة مثل تجارب الكثافة الضوئية (Optical density studies) ويكون من الصعب تخمين هذه التقديرات في الجرعة الممتصة التي نصادفها في حياتنا العملية .



الشكل 2.2 منحنى التوهج الوميضي الحراري لمادة وميضية حرارية

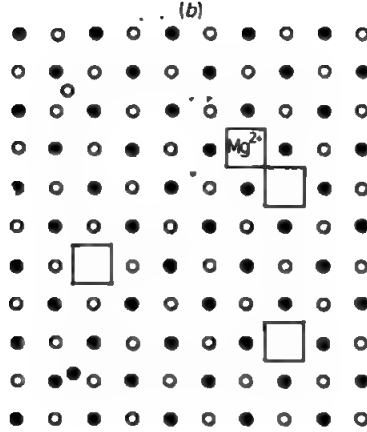
المصدر J.R. Greening (1981) 28

ان فهماً كاملاً لميكانيكية ظاهرة الوميض الحراري لم يتم التوصل اليه بعد وان من الممكن استنباط ميكانيكية عامة للظاهرة بواسطة الاشارة الى ابسط انواع التراكيب للبلورات المتعددة الذرات (Multi - atomic crystalline structure) وهو الهاليدات القاعدية (Alkali halides) حيث تتكون من شبكات من الايونات المكعبة المتداخلة القاعدية والهاالوجينية (الشكل 3.2) حيث يمثل الشكل الحالة المثالية للبلورة الكاملة (Perfect crystal) ولكن الحقيقة هي ان جميع البلورات الحقيقية تحوي عيوباً شبكية من انواع متعددة (الشكل 4.2) وهذه العيوب تؤدي دوراً مهماً في فعالية الوميض الحرارية.



الشكل 3.2 التركيب الايوني المثالي الكامل لبلورة الهالوجين القاعدية ●
ايونات الهالوجين ○ الايونات المعدنية القاعدية

المصدر A.F. Mc Kinlay (1981) 89

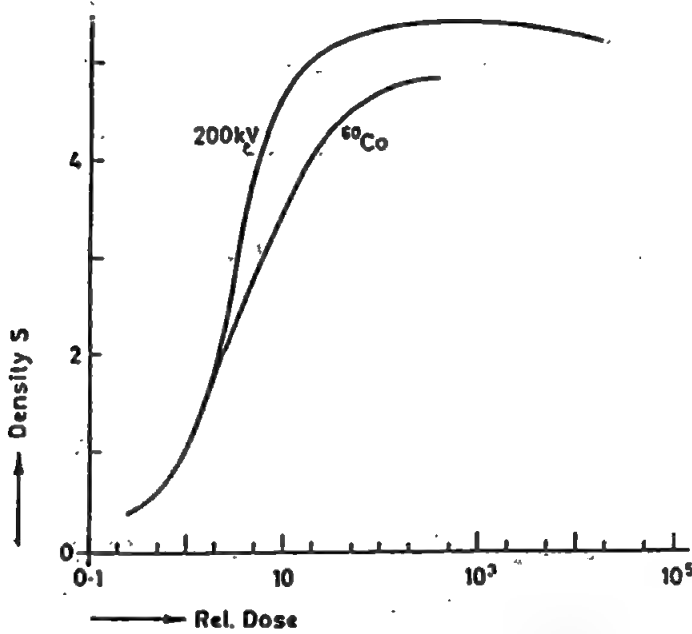


الشكل 4.2 التركيب الايوني لبلورة واقعية غير كاملة تحتوي عيوباً مختلفة
الانواع
● ايونات الهالوجين ○ الايونات المعدنية القاعدية

المصدر 89 (1981) A.F Mc Kinlay

5.2.2 افلام قياس الجرعة (Film dosimeters)

تسود مستحلبات الافلام عند تعرضها الى الاشعاع المؤين. وهذه المستحلبات تتكون من بلورات هوليد الفضة وغالب ما تكون بروميد الفضة الموضوعة في مادة هلامية وتنشر بصورة منتظمة ورقيقة على قاعدة بلاستيكية رقيقة. استعملت خاصية الاسوداد لقياس الاشعة السينية لغرض الكشف الكمي عنها. ان اعتماد الاسوداد على الجرعة (منحنى الكثافة - الجرعة) موضح في الشكل 5.2.



الشكل 5.2 الكثافة المحسوبة بواسطة قياس الضوء لافلام قياس الاشعاع لاشعة كاما المنبعثة من الكوبلت - 60 ومن الاشعة السينية بطاقة 200 keV (معدلة لاسوداد مقداره 1).

المصدر Kiefer and Maushart (1972) 77

كما ان الاسوداد يتناسب مع جرعة التعرض من الجرعة الواطئة فصاعدا .
 ويستعمل العرض على شكل نصف لوغاريتمي غالبا في منحنيات الجرعة -
 الكثافة لغرض توضيح مجال اوسع . وباستعمال الافلام فإنه من الممكن تغطية
 المجال $1 \times 10^3 - 1 \times 10^5$ الى واحد ويعطي الحد الاعلى للتحسس بواسطة
 الكثافة القصوى للفيلم . كما ان الاسوداد ويرمز له بالحرف S يمكن ان
 يقاس ضوئيا (photometric measurement) وهو يساوي

$$S = 10 \log \left(\frac{I_0}{I_x} \right) \dots\dots (2.14)$$

حيث تمثل I_0 شدة الضوء المتقل خلال الفلم غير المعرض و I_x هي الشدة المتقلبة خلال الفلم المسود (المعرض).

ان هذه القيمة تكون اعلى من 4 . وفي الجرعة الاعلى فإنه يكون
 هنالك اختزال في الكثافة راجع الى ظاهرة تعرف بالتشميس
 (Solarization) والزيادة الاكثر في الجرعة الاعلى تنتج عن انفصال الفضة .
 تزداد الكثافة الضوئية الناتجة بفعل الاشعاع في افلام التصوير في البداية
 بصورة خطية مع التعرض الى الاشعاع ولكن تهبط في النهاية الى اقل من
 القيمة المتوقعة من خلال التناسب المباشر . واذا عرض الفلم الى فوتونات ذات
 طاقات مختلفة وان الكثافة الضوئية تقع ضمن المجال الخطي فلقد وجد
 بالتقريب ان الكثافة الضوئية تتناسب مع الجرعة الممتصة في حبوب هاليدات
 الفضة .

تدل النظرية على ان الاستجابة الفلم للاشعاع ذي الطاقات المختلفة
 سوف تتأثر بسمك المستحلب ونسبة المادة الهلامية الى هاليدات الفضة في
 المستحلب بالاضافة الى ان حجم الحبيبات يكون له تأثير .

كما ان الطاقة المستحصلة من جرعة اشعاعية متساوية تعتمد على طاقة
 الاشعاع الساقط . ويعزى هذا الى الاختلاف في معاملات الامتصاص للهواء
 ومستحلبات التصوير . ان قمة الامتصاص في مستحلبات التصوير تقع قريبا

من 0.40 KeV ان الافلام الاعتيادية تكون حساسة اكثر عند هذه الطاقة بمعامل مقداره 15 الى 40 ضعف من الحساسية الدنيا قرب 1 MeV ومن الممكن التغلب على بعض الصعوبة الناتجة عن اعتماد حساسية الفلم على طاقة الاشعاع بما يلي

- 1 امتصاص الاشعاع بمرشحات معدنية
- 2 مزج مستحلبات افلام ذات حساسيات مختلفة
- 3 التعويض المتألق (Fluorescence compensation)

الحساسية

هنالك عدة حساسيات مطلوبة في افلام قياس الجرعة وذلك ناتج عن طبيعة استعمالها المختلفة بوصفها مقاييس جرعة فردية او مقاييس جرعة حوادث (او لغرض حساب الجرعة الموقعية).

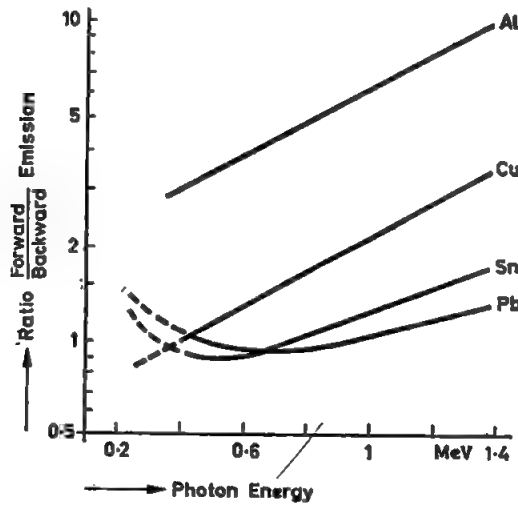
كما ان افلام قياس الاشعاع التجارية تقيس بين 50 mR و 100 R باستعمال مستحلبين لهما حساسيات مختلفة. حيث تشمل فلما حساسا وفلما غير حساس في نفس العبوة او ان مستحلبين لهما حساسيات مختلفة يتم وضعهما على سطحي نفس الفلم وفي هذه الحالة يجب التأكد من ان مجال الجرعة للمستحلبين يتطابق في بعض النقاط لغرض تجنب الخطأ في حساب الجرعة بين المجالين.

ومن الممكن تحسس جرعة اشعاعية تقا، عن 10 mR الاشعاع الكمي ذي الكثافة الثانية القصوى) بينما يمكن قياس اعلى من 1000 R (للاشعاع الكوني ذي كثافة التاين الدنيا) كما يمكن تحسس عشرات من mR بواسطة استعمال التشديد التوهجي (Fluorescence intensification)

استعمال المرشحات مع الافلام

ان للمرشحات المعدنية القابلية على امتصاص الاشعاع ذي الطاقات الواطئة الى درجة كبيرة بسبب تحرر الالكترونات ثانوية اضافية في حالة الاشعاع ذي الطاقة العالية كما في الشكل 6.2 ومن الممكن تقليل اعتماد كثافة الافلام على الطاقة باستعمال المرشحات التي تستطيع ان تعالج حالة الاعتماد على الطاقة.

كما ان بالاستطاعة الحصول على عدم اعتماد على الطاقة مقداره $\pm 20\%$ فوق طاقة 100 KeV باستعمال مرشح واحد على سبيل المثال يمكن استعمال مرشح ذي سمك 1.2 مللمتر مصنوع من القصدير (Tin) على كلا الوجهين الامامي والخلفي للفلم ولكن هذا النوع من الافلام سوف يكون قليل الحساسية جدا للطاقات الاقل من 100 KeV .

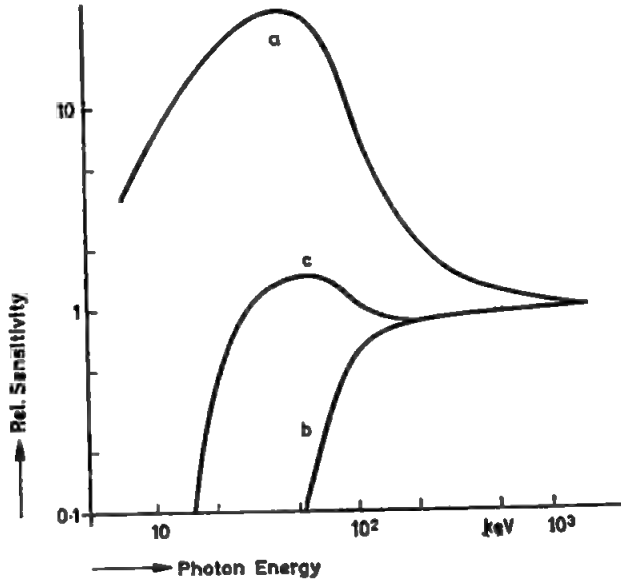


الشكل 6.2 ناتج الالكترونات الثانوية لعدد من المرشحات المعدنية

المصدر 77 Kiefer and Maushart (1972)

كما ان استعمال عدة انواع من المرشحات ذات السمك المعين على التوالي امام الافلام لا يعطي اي تحسين ملموس بالاستجابة للطاقات الواطئة. ومن الممكن الحصول على عدم اعتماد على الطاقة مقداره $\pm 21\%$ وحالة توازن الكتروني بمجال الطاقة المتراوح بين 10MeV و 115KeV (الشكل 7.2)

كما ان من الممكن تغطية الافلام بمرشحات معدنية مختلفة ذات اسماك مختلفة واشكال هندسية مختلفة موضوعه الواحد منها جنب الاخر ويتم القياس الضوئي في كل منطقة مغطاة ويعطي ذلك متوسط الكثافة في تلك المنطقة.



طاقة الفوتون

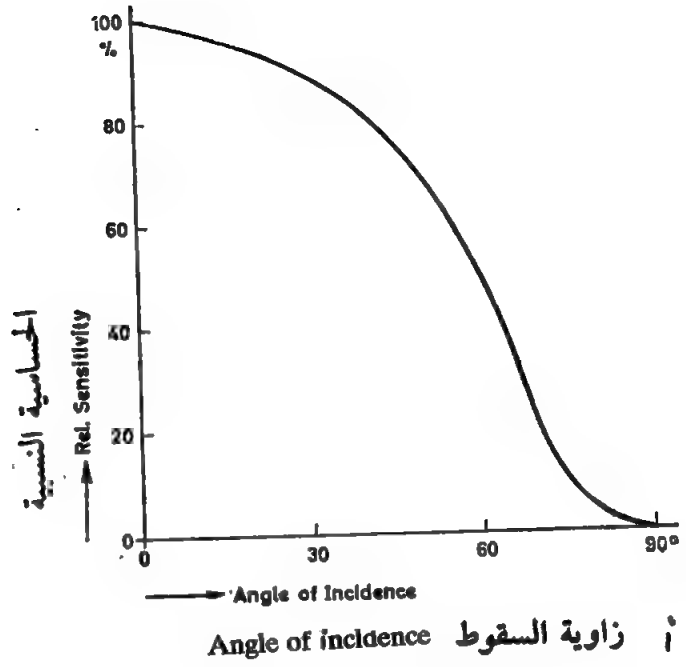
الشكل 7.2 اعتماد الطاقة لاحد افلام قياس الاشعاع
أ- دون استعمال مرشح ب- باستعمال مرشحين احدهم سمكه 1.07 ملم
قصديروالاخر رصاص سمكه 0.3 ملمتر. ج- مجموعة فلمين مع وضع
احد الافلام خلف الفلترين.

المصدر Kiefer and Maushart (1972) 77

والزيادة في الحساسية في مجال الطاقة الاقل من 100 KeV يمكن ان يحصل عليه بواسطة ترتيب فلمين لهما حساسيات مختلفة بين مرشحات مختلفة الواحد منها خلف الاخر وفي هذا الترتيب فان الفلمين يخضعان للقياس اما بان واحد (حساب مجموع الكثافة المباشر) او ان الكثافات المفردة يتم تقديرها كما ان من الممكن الوصول على عدم اعتماد على الطاقة في احسن حالة ملائمة في مجال الطاقة 30KeV لغاية 2 MeV باستعمال تشكيلات اخرى من المرشحات .

ان احد المساوئ لاستعمال التعويضات بالمرشحات هو الاعتماد على الاتجاه في الافلام وذلك يمكن ان يسبب خطأ كبيراً وخاصة مع طاقات الاشعة السينية الواطئة (الشكل 8.2) .

ان الاعتماد على الاتجاه لدلالات الجرعة يسبب كذلك اختلافات في الاعتماد على الطاقة مع اتجاه السقوط مما يسبب خطأ اضافيا في حساب الجرعة بالطريقة المعتمدة على الطاقة لحساب جرعة كما (الشكل 8.2) .



الشكل 8.2 القراءة المسجلة على افلام قياس الاشعاع بدلالة الاتجاه
للأشعاع الساقط وباستعمال مرشح مع الفلم.

المصدر Kiefer and Maushart(972) 77

الفصل الثالث
التأثير البيولوجي للإشعاع

Biological Effect Of Radiation

الفصل الثالث

التأثير البيولوجي للاشعاع

لقد خضعت تأثيرات الاشعاع البيولوجية الى دراسات مستفيضة لعدد من السنوات وبالرغم من ذلك فإن التقدير الكمي للضرر الناتج عن تعرض البشر للجرع الاشعاعية صعباً جداً وخاصة في منطقة الجرعة الاشعاعية الواطئة، كما انه حتى في حالة الجرعة الاشعاعية العالية فإن المعلومات غير مؤكدة. ان الاتجاه العام هو خفض قيم الجرعة التي يعتقد انها تسبب خطورة وهذا ما تم عكسه في التشريعات المتعلقة بحماية العاملين والسكان من تأثير الاشعاع.

ومن الممكن التفريق بين تعرض الجسم بأكمله (Whole body exposure) وتعرض الجسم الجزئي (Partial body exposure) حيث ان تعرض الجسم بأكمله ربما يتم من عدة اتجاهات او من اتجاه واحد فقط ويمثل التعرض الاول التعرض الى المتساقطات المشعة الناتجة من التفجيرات والحوادث النووية (Fall-out). اما التعرض من اتجاه واحد (Unidirectional exposure) فإنه ينتج عادة من مصدر مشع واحد. من المهم جدا التفريق بين كمية الاشعاع التي تصل الى سطح الجسم وكمية الاشعاع التي تصل الى مختلف الاعضاء داخل الجسم. ان سبب اختلاف هذه الكميات يعود الى التفاعل الفيزيائي بين الاشعاع والذرات داخل الجسم عند مرور الاشعاع من خلالها حيث يتم توهين (Attenuation) شدة (Intensity) الاشعاع. ان مقدار التوهين يعتمد على خاصية الاشعاع (النوع والطاقة) ويعتمد كذلك على حجم الجسم وعلى عمق العضو المعين. هنالك مفهوم يستعمل في علم الاحياء الاشعاعي وهو متوسط الجرعة (Mean dose) لكافة الانسجة ويستعمل هذا المصطلح لتقدير الضرر الناتج عن تعرض الجسم كله. ان هذه تمثل بجرعة الانسجة الوسيطة كذلك لكافة الانسجة (Midline tissue dose). ان التفريق

بين الجرعة السطحية للانسجة والجرع الوسطية للانسجة مهم جدا وخاصة عندما يكون السكان المعرضون مؤلفين من اشخاص باعمار مختلفة وبضمنهم الاطفال ومثال على ذلك ان اشعة كاما تعطي متوسط جرعة 1230 لنخاع العظام للبالغين تقدر بـ 53% من الجرعة على سطح النسيج ولكن هذه الجرعة تكون 63% لطفل بعمر خمس سنوات و 70% من الجرعة السطحية للانسجة للمولود الجديد.

اما بالنسبة الى النيوترونات فان الاختلافات تكون اكبر وعندما تصنف هذه الى حساسية الاطفال الداخلية الى الاشعاع فان ذلك قد يعني الفرق بين الموت والحياة اي بمعنى ان مستوى التعرض الخارجي للاشعاع الذي قد لا يسبب اي وفيات للبالغين ربما يؤدي الى موت مؤكد للاطفال ونستخلص من ذلك ان احتمال بقاء الاطفال والرضع احياء نتيجة التعرض الى جرعة عالية من الاشعاع يكون اقل كثيرا من البالغين بنفس المستويات من التعرض.

1.3 تأثيرات الاشعاع القصيرة الامد (الحاد)

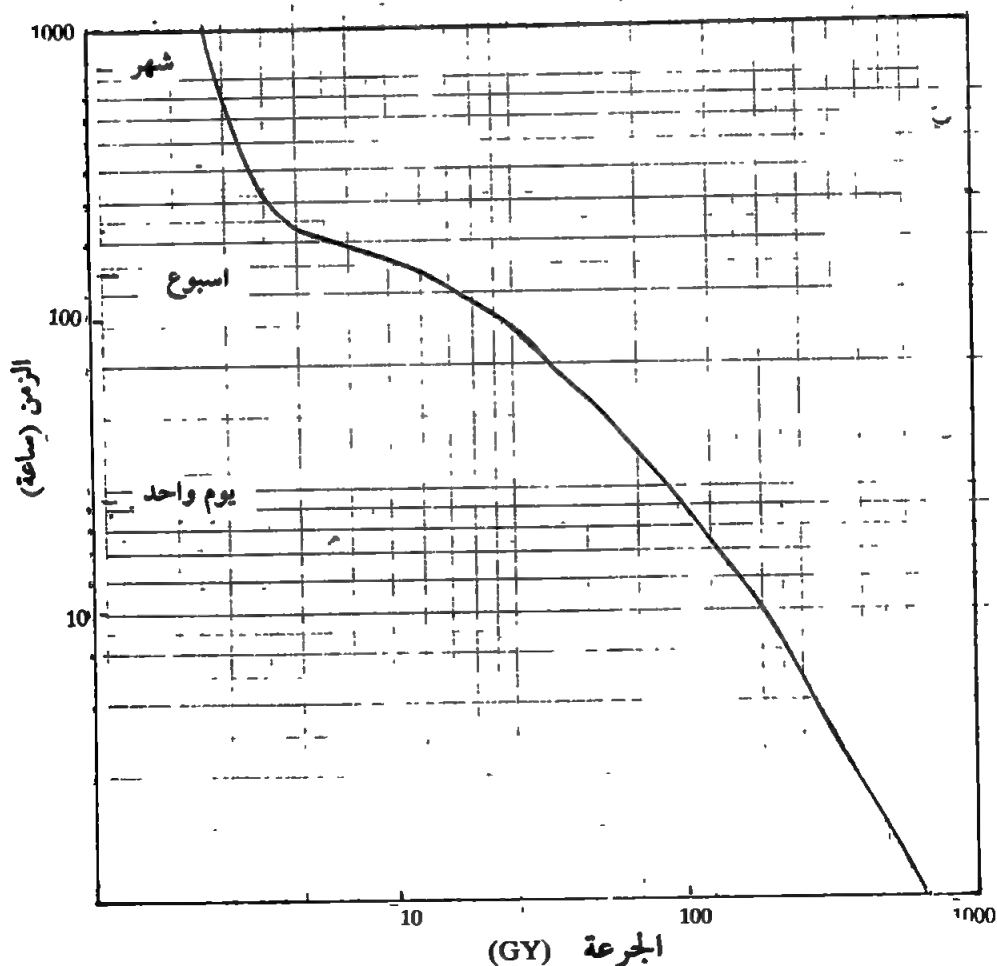
تظهر اعراض تأثير التعرض القصير الامد الى الاشعاع سريعا بعد التعرض الى الاشعاع وخلال ساعة او ساعتين ولربما بعد عدة دقائق من التعرض الى الاشعاع العالي جداً ولكن الموت بسبب التعرض قد لا يحدث الا بعد مرور شهرين حيث استدل على ذلك من ضحايا القنابل الذرية في اليابان وقد يمتد الى اطول من ذلك كثيرا ولربما لعدة سنوات مما يؤدي الى عدم وجود حدود فاصلة بين التأثير الطويل الامد والتأثير القصير الامد، ومن اهم اعراض التعرض القصير الامد للاشعاع هو حدوث مرض الاشعاع (Prod-romal Syndrome) الذي تكون اعراضه الابتدائية فقدان الشهية للطعام (Anorexia) والغثيان (nausea) والصداع. ان هذا المرض يحدث عندما يتعرض كافة الجسم او اجزاء كبيرة منه خلال وقت قصير الى جرعة اشعاعية عالية تبلغ نحو 0.2 غرامي او اكثر وعند وصول الجرعة الى 1 غراي فان

الاعراض قد تختفي سريعاً ويتم الشفاء ظاهرياً ويزيادة هذه الجرعة فان الموت يزداد حتى يصل الى نسبة 100% ويحدث هذا بجرعة 5 غراي (جرعة وسط الانسجة) ويمثل (الجدول 1.3) الجرعة المتسلمة في التعرض القصير الامد وتأثيراتها. ان بعض الاشخاص الاصحاء البالغين قد ينجون حتى في حالة تجاوز الجرعة 5 غراي وذلك في حالة توفر معالجة خاصة . ان الموت الناتج من التعرض الى جرعة 1-5 غراي يكون سببه الاساسي تلف الانسجة المولدة للدم وفي الجرعة الاعلى يرجع سبب الوفاة الى حدوث خلل في الجهاز الهضمي (Gastro - intestinal system) وعند ارتفاع الجرعة اكثر فان الموت يكون بسبب تلف الجهاز العصبي المركزي . ان زمن الوفاة يعتمد على مقدار الجرعة ويمثل (الشكل 1.3) منحني يبين لزمن الوفاة بدلالة الجرعة الاشعاعية لكافة الجسم . ان هذا المنحنى قد تم التوصل اليه استناداً الى التجارب التي اجريت على اللبائن وهو يمثل تقريباً تقديراً .

الجدول 1.3 الجرعة الإشعاعية المتسلمة في التعرض القصير الامد (الحاد)
واعراضها

0 - 1 غراي		1 — 10 غراي		10 - 6 غراي		المدة الممت أكثر من 10 غراي	
لا يوجد		1 - 2 غراي		6 - 2 غراي		10 - 6 غراي	
ظهور التقيؤ		1 - 5 غراي %		3 غراي 10 %		10 - 6 غراي	
الفترة قبل ظهور التقيؤ الغثيان		2 غراي 50 %		ساعتين		ساعة واحدة	
العصو الرئيس		3 ساعات		30 دقيقة		30 دقيقة	
لا يوجد		نقص متوسط في كريات الدم البيضاء		نقص حاد في كريات الدم البيضاء		نقص حاد في كريات الدم البيضاء	
الاعراض الخاصة		مرص تبقيع الجلد والتزف والاصابة		مرص تبقيع الجلد والتزف والاصابة		مرص تبقيع الجلد والتزف والاصابة	
الفترة الحرجة بعد التعرض		من 3 غراي		بالامراض وضاقط الشعر أكثر		بالامراض وضاقط الشعر أكثر	
زمن الشفاء		بضعة اسابيع		4 - 6 اسابيع		4 - 6 اسابيع	
الموت		0		0 - 80 %		0 - 80 %	
زمن الموت		شهرين		شهرين		شهرين	
سبب الموت		نزف والاصابة بالامراض		نزف والاصابة بالامراض		نزف والاصابة بالامراض	

من الممكن تمييز ثلاثة مناطق في هذا المنحنى البياني فعند 20 غراي او اكثر يتناقص زمن حدوث الموت بصورة سريعة مع ازدياد الجرعة وعندما تكون الجرعة الاشعاعية عالية جدا فان الموت يحدث بسرعة خلال ساعات او دقائق اما المجال الثاني فإنه يغطي الجرعة 5-20 غراي حيث يتغير زمن الموت بصورة اقل كثيراً مع الجرعة ويتم الموت عادة خلال اسبوع واحد اما بالنسبة الى المجال الثالث الذي هو 5 غراي و اقل فإن زمن الموت يتغير بصورة اسرع حيث يتراوح بين عدة اسابيع الى عدة اشهر مع زيادة احتمالية البقاء بانخفاض الجرعة ، تختلف استجابة البشر فيما بينهم للتعرض الاشعاعي اختلافا كبيرا.



الشكل 1.3 شكل بياني يمثل زمن الوفاة بدلالة الجرعة الاشعاعية

المصدر: P.D. Markovic (1977) 85

ان الحالة الصحية العامة والتركيب الوراثي قد يؤديان عند تعرض عدد من الناس الى نفس الجرعة الاشعاعية الى ان تظهر على البعض اعراض مرض الاشعاع الذي يدعى كذلك (Radiation sickness) بينما لا تظهر في البعض الاخر، ولهذا في حساب احتمال حدوث الاعراض فانه يجب اتباع طرائق احصائية متخصصة كما موضح في الجدول 2.3 .

ان تعاقب حدوث الاعراض وزمن حدوثها وشدها ربما يعطي بعض المعلومات عن الجرعة فيما اذا كانت غير معروفة. ان الاعراض تظهر بصورة اسرع كلما زادت الجرعة الاشعاعية ويكون تأثيرها اشد كذلك وعندما تكون الجرعة متوسطة فإن الاعراض تختفي بعد ايام قليلة ويشعر المتعرض بالتحسن ريبعد اسبوع او اقل قد تظهر الاعراض مرة اخرى مصحوبة باعراض مرضية اخرى حيث قد يؤدي ذلك الى الموت في حالة كون الجرعة الاشعاعية عالية بمافيه الكفاية.

الجدول 2.3 جرعات الاشعاع المسببة لاعراض مرض الاشعاع

النسبة المئوية للسكان المعرضين

الاعراض والعلامات المرضية

%90	%50	%10	
(gray)		غراي	
2.4	1.1	0.4	فقدان الشهية
3.2	1.1	0.5	الغثيان
3.8	2.1	0.6	التقيؤ
3.9	2.4	0.9	الاسهال

ان التقيؤ المستمر خلال اول يومين وكذلك حصول الاسهال يدل على التعرض الشديد. ان المعرضين الذين يصعب تهدئة غثيانهم واسهالهم يموتون عادة.

المصدر 130 منظمة الصحة العالمية (1984)

1.1.3 التأثير في جهاز تكوين الدم

(Effect on the blood forming system)

ان التأثير القاتل الرئيس للاشعاع يحدث بواسطة الفعل المتلف للخلايا التي يصنع منها الجسم وعندما تكون الجرعة الاشعاعية عالية فإن الطاقة الداخلة الى الخلايا تكون كافية لتحطيمها كلياً ولكن الجرعة الاقل كثيراً قد تؤدي الى ايقاف عملية الانقسام الخيطي (Mitosis) الذي يؤدي الى ايقاف الخلايا عن الانقسام واذا بقيت خلايا قليلة جداً قابلة للانقسام فإن الكائن الحي لا يستطيع القيام بفعالياته الحيوية ولذلك يحدث الموت .

من اهم تأثيرات الاشعاع على الخلايا ما يحدث على الانسجة المكونة للدم وخاصة خلايا نخاع العظام الحساسة للاشعاع (Bone marrow stem cells) والخلايا اللمفاوية (Lymphocytes) . ان حساسية الخلايا اللمفاوية كبيرة جداً الى درجة انه حتى جرعة 0.1 غراي قد تؤدي الى حدوث اعراض غير طبيعية في تركيبها وان جرعة 2.5 غراي قد تؤدي الى خفض عددها الى اقل من 10 بالمائة اما خلايا الدم الاخرى فأنها تكون اقل حساسية ولكن يجب ان تجدد بصورة مستمرة. ان تلف نخاع العظام يؤدي الى منع تكوين كل انواع خلايا الدم ومن اكثر التغيرات ملاحظة عند التعرض للاشعاع انخفاض عدد كريات الدم البيضاء التي تكون واجباتها مقاومة الالتهابات وازالة المركبات السمية من الجسم حيث يؤدي انخفاضها بصورة كبيرة في الجسم الى ضعف الكائن الحي وتعرضه للاصابة (Infection) بالمرض. اما الاقراص الدموية (Platelets) التي تؤدي دوراً مهماً في تخثر الدم فينخفض عددها بصورة كبيرة ويؤدي ذلك الى النزيف وتبقع الجلد الارجواني (purpura) وكذلك انخفاض انتاج خلايا الدم الحمراء يؤدي الى فقر الدم الشديد عندما تتراوح الجرعة الاشعاعية بين واحد وخمسة غراي .

والاعراض الابتدائية لمرضى الاشعاع قد تكون مصحوبة باعراض مرضية اخرى في حالة تحطم عدد كبير من خلايا ساق نخاع العظام وهذه

الاعراض هي نزف تحت الجلد ونزف الفم ونزف في الاعضاء الداخلية ولكن المتعرض اكثر يكون عرضة للاصابة التي تؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة وهزال شديد وهذان نتيجة الحمى التي تؤدي عادة الى الموت بعد فترة نحو 6 اسابيع .

2.1.3. التأثير في الجهاز الهضمي

ان الموت يحدث في مجال الجرعة 5-20 غراي بصورة مبكرة بسبب التغيرات التي تحدث في الجهاز الهضمي . ان معدل انقسام الخلايا المبطنة لتجويف الامعاء ينخفض خلال دقائق من التعرض حيث يموت قسم كبير منها وعندما لا يتم التعويض عن الخلايا الميتة فان الشعيرات (villi) تتقلص وبعد ذلك يحدث تقرح (ulceration) الذي يتبعه الالتهاب الغنغريني (Gangrenous inflammation) الذي يولد حمى عالية ويستمر الاسهال ويتطور بحيث يصبح الغائط دمويًا بدلا من عادي وبعد ذلك تنتفخ البطن بصورة غير طبيعية وتفقد سوائل الجسم ويصاب المعرضون بعدها بغيبوبة وينتج الموت عادة من الالتهاب المعوي وتسمم الدم واختلال في توازن سوائل الجسم . ان فرص البقاء بعد التعرض الى هذه الجرعة يكاد يكون معدوما .

3.1.3. التأثير في الجهاز العصبي المركزي

(Effect on central nervous system)

ان التعرض للجرعة العالية جدا والتي تبلغ 20 غراي واكثر تسبب الموت نتيجة التغيرات في الجهاز العصبي المركزي وهذه التغيرات تشمل تلف خلايا الدماغ والاستسقاء الدماغية والتهاب الاوعية الدماغية .

4.1.3 التأثير الحاد على الرئة (Acute lung effect)

ان الموت الناتج عن الفعل الحاد للاشعاع قد يحدث نتيجة التعرض الداخلي الناتج عن استنشاق المواد المشعة كما ان ذلك يؤدي الى ظهور اعراض التعرض العالي للاشعاع في حالة ارتفاع الجرعة الاشعاعية المتسلمة من قبل نسيج الرئة وقد يؤدي الى الموت كذلك. ان هذه التأثيرات لا علاقة لها بالتأثيرات الاخرى الناتجة عن التعرض الاشعاعي كالتليف وسرطان الرئة التي قد تحدث نتيجة التعرض الى جرعة اشعاعية اقل كثيراً. والتأثير في حالة التعرض العالي يكون نتيجة فعل الاشعاع المباشر على جدران الرئة وعلى الفعل التالف لخلايا الرئة حيث يؤثر الاول في نفاذية اغشية الاكياس الهوائية (Alveoli) مما يؤدي الى تسرب السوائل منها ويصاحب ذلك اعراض السعال والنفس القصير. ان التأثير في الرئة يشمل كذلك احتقان الاكياس الهوائية التي فيها مما ينتج عنه انخفاض في عملية تبادل الغازات مع حدوث (Hypoxia) وحدوث نزف في التجويف السنخي (Alveolar space) مما ينتج عنه بصاق ملوث بالدم وفقدان افرازات الفعالية السطحية (Surface acting secretion) ويؤدي الى تحطم الاكياس الهوائية وتصلب الرئة مع فقدان الرئة لقابليتها على المناعة مما يجعلها عرضة للاصابة بمرض ذات الرئة (Pneumonia).

ان سبب الوفاة ربما يكون كذلك بسبب عجز القلب نتيجة قلة الاوكسجين او لمرض ذات الرئة او لتسمم الدم (Toxaemia). ان زمن الموت ربما يكون بعد عدة اشهر من الاستنشاق ويعتمد ذلك على العمر والظروف البيئية وتوفر العلاج. ان الجرعة المميتة للرئة هي بحدود 10 - 20 غراي بالاضافة الى ان التأثير المتجمع المتعاوض (Synergistic) لهذه التعرضات يؤدي الى تطور المرضى الى حالة اكثر سوء وتحت هذه الظروف فان الجرعة الاشعاعية الاقل قد تكون مميتة كذلك.

5.1.3 التأثيرات الاخرى للتعرض الحاد

بالاضافة الى اعراض مرض الاشعاع الانية فإن الاشخاص الذين ينجون من الموت تظهر عليهم بعض الاعراض العابرة اولها التأثير الحاصل في الجلد والذي لوحظ منذ الايام الاولى لاكتشاف الاشعة السينية. أن تأثير الاشعاع هذا مشابه لتأثير لفحة الشمس (Sun burn) ولكنه يمتد لعمق اكبر. وعندما تكون الجرعة الاشعاعية عالية فإن التأثير ربما يظهر خلال دقائق ويكون مصحوباً بحكة وتقشر وألم ويستغرق ظهور الاعراض فترة اطول قد تبلغ 10 ايام عند التعرض الى جرعة اشعاعية اقل .

ان الاشعة ذات طاقة الانتقال الخطي الواطئة (Low LET) تسبب التهاباً للجلد بعد التعرض الى جرعة اشعاعية واحدة مقدارها 3 غراي وتسبب جرعة 6 غراي التهاب الجلد في 50% من المتعرضين للاشعاع. اما النيوترونات فإن التهاب الجلد يبدأ بجرع اشعاعية اقل حيث تؤدي جرعة 2 غراي الى اصابة 50% من المتعرضين. أن التهاب الجلد يكون طفيفاً عند التعرض الى جرعة اشعاعية واطئة ويختفي تدريجياً. أما اذا زادت الجرعة عن 10 غراي فإن القروح في الجلد تسوء بمرور الزمن محدثة بعض التغيرات المتلفة (المدهورة) (Necrobiotic changes) وتشمل هذه التغيرات التقشر (scaling) والترطب (Weeping) وتكسر الجلد (Sloughing) وقد يسبب ذلك ندباً دائمية يصاحبها تورمات خفيفة.

ان الجلد قد يتعرض الى جرعة اشعاعية عالية نتيجة تساقط المواد المشعة المطلقة لجسيمات بيتا حيث تسبب حروقاً تدعى (Beta burns).

من الاعراض الأخرى للتعرض العالي (الحاد) للأشعاع غير المسبب للموت هو تساقط الشعر (Epilation) الذي قد يبدأ بعد اسبوعين من تعرض فروة الرأس الى جرعة اشعاعية تبلغ 3 غراي أو أكثر. أن الشفاء يحدث بعد عدة أشهر من التعرض ما عدا الجرعة الاشعاعية العالية جداً حيث يكون

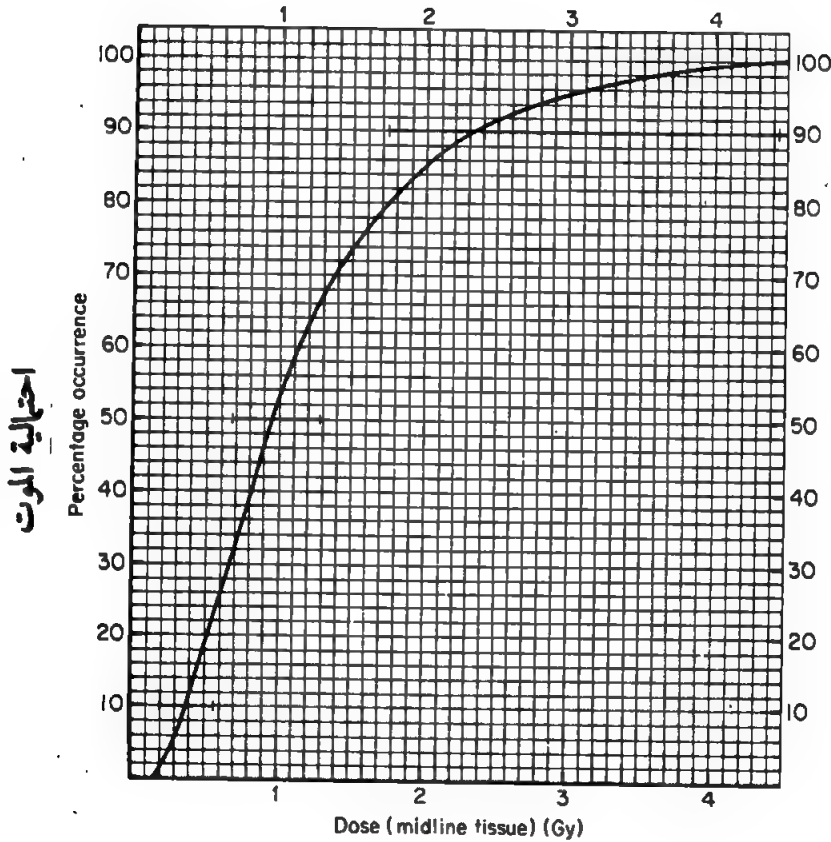
فقدان الشعر نهائياً.

يؤدي تعرض الجهاز التناسلي للأشعة الى تأثيرات وقّية أو دائمية اعتماداً على جنس المتعرض. وجد ان هنالك اختلافاً كبيراً بين الذكور والإناث. ففي الذكور تستنفد الخلايا المولدة للحيامن مما يؤدي الى فقدان الأخصاب والعقم. أن العقم قد يكون مؤقتاً ويحدث نتيجة التعرض الى جرّع اشعاعية تقل عن 0.3 غراي وكلما زادت الجرعة زاد الوقت اللازم للشفاء. ومع هذا فإن الشفاء لا يتم في جميع الحالات. اما في النساء فإن الاشعاع قد يسبب تلفاً لا يمكن اصلاحه في الخلايا المولدة للبيوض (Oocytes) وبهذا فإن العقم ينتج بعد التعرض الى جرّع اشعاعية عالية واعتماداً على العمر الذي تم فيه التعرض الا انه يجدر الإشارة الى التعرض الى جرّع تقرب من 6 غراي فإنه يحصل عقم كامل للنساء بغض النظر عن العمر.

2.3 الجرعة المتوسطة القاتلة (Median lethal dose)

يختلف رد الفعل للجرع التي تتراوح بين 1-5 غراي من فرد الى آخر حيث يموت البعض وينجو منها البعض الآخر ويعود في هذه الحالة عدد خلايا الدم الى طبيعته بعد عدة اشهر ويظهر على الخلايا الشفاء ظاهرياً ويبقى احتمال حدوث خطر التأثير الطويل الامد (المزمن) (Long term effects) قائماً. ويستعمل بذلك الاسلوب الاحصائي لغرض حساب احتمالية الموت او البقاء. والشكل 2.3 يمثل النسبة المئوية للأشخاص الذين يحتمل ان يموتوا من بين عدد كبير من المتعرضين لجرّع اشعاعية معينة. ان النقطة الوسطية للمنحنى البياني تمثل الجرعة التي تعطي احتمالية 50% للموت أو البقاء خلال اسابيع قليلة من التعرض. ان هذه النقطة تدعى الجرعة المتوسطة القاتلة ورمزها LD-50 وهي تشكل مقياساً مهماً. لقد حسبت هذه القيمة للانسان وهي تمثل 2.5 غراي (الشكل 2.3) الذي ينطبق على تشيع

عموم الجسم للبالغين. ان الظاهرة المميزة في المنحنى البياني هي التدرج الحاد بين مجال قليل من الجرعة (0.9-4 غراي) ترتفع فيه احتمالية الموت من 10% الى 90% .



جرع الخط النسيج الوسط Gy

الشكل 2.3 احتمالية الموت من التأثير القصير الامد للاشعاع

3.3 العوامل المؤثرة على البقاء بعد التعرض الحاد للإشعاع

تلعب العوامل الفيزيائية والحياتية دوراً هاماً في تحوير قيمة الـ LD-50 في البشر المعرضين لجرع كبيرة وحادة من الإشعاع. ومن العوامل الفيزيائية نوع الأشعة ومعدل استلام الجرعة. إن استلام الجرعة بمعدلات سريعة يؤثر بصورة كبيرة في حدوث الأعراض الابتدائية للتعرض إلى الإشعاع. وعلى قيمة LD-50 وتدل التجربة المكتسبة من المعالجة بالأشعة (Radiotherapy) على أن إطالة التعرض إما بإعطاء جرعة إشعاعية بطيئة أو تجزئة الجرعة إلى عدد من الجرعات بفواصل زمنية يتطلب زيادة الجرعة الكلية لغرض الوصول إلى نفس التأثير لجرعة تعطى لفترة قصيرة من الزمن وهذا يدل على أن التلف الحادث في الأنسجة يمكن إصلاحه لمدى معين في الفترة الواقعة بين جرعتين أو خلال فترة التعرض لمدة طويلة من الزمن. أن تعرض نسبة من الجسم إلى حجم الجسم الكلي يعتبر من أهم العوامل البايولوجية، فبعض أجزاء الجسم كالأطراف مثلاً تتحمل جرعات إشعاعية أعلى كثيراً قبل أن تظهر أعراض التعرض الحاد عليها مقارنة بتعرض عموم الجسم كما أن قيمة الـ LD-50 ترتفع كذلك عندما يكون جزءاً من الجسم محمياً بدرع واق أو أنه تسلم جرعة أقل وكلما كبرت نسبة نخاع العظام المحمي من الإشعاع زادت الفرصة للبقاء حياً.

يعتبر العمر عند التعرض عاملاً حيوياً مهماً حيث يظهر أن الحساسية للإشعاع تكون أعلى أشدها في الأعمار الصغيرة جداً والكبيرة جداً وتكون LD-50 لهاتين الشريحتين السكانييتين أقل من الأشخاص البالغين في أواسط العمر بالإضافة إلى حساسية الأطفال للإشعاع.

4.3 التأثير الجسمي للتعرض الطويل الأمد (المزمن) (Long term somatic effects)

لا يؤدي التعرض الى الجرعة الاشعاعية الواطئة الى ظهور اعراض مبكرة ولهذا فقد كان يظن ان مثل هذه الجرعة الاشعاعية لا تسبب ضررا الا انه قد ثبت ان هذا الظن في غير محله ، والجرع الاشعاعية الواطئة قد تسبب تلفا لعدد من الخلايا لكن معظم هذا التلف (وخاصة ذلك الناتج من التعرض الى الاشعة السينية واشعة كاما) يمكن اصلاحه بواسطة الجسم عن طريق بعض الانزيمات وقد يبقى جزءا منه و يتطور مؤديا الى عدة امراض .
يخضع التلف الكامن في الخلايا الجسمية نتيجة التعرض الى جرعة اشعاعية واطئة لنظرية الاحتمالية وهذا يعني انه تحدث تأثيرات بصورة عشوائية في المجتمع المشع . ان تكرار حدوث تأثير معين يتناسب مع قيمة الجرعة ولكن شدة التأثير لا تعتمد على هذه الجرعة الاشعاعية . ان هذه تدعى التأثيرات العشوائية (Stochastic effects) حيث لا يوجد حد حرج لها اي انها يحتمل ان تحدث عند التعرض لاي جرعة اشعاعية ومن هذه التأثيرات ما يلي .

1.4.3 الحث على تكوين مرض السرطان (Induction of cancer)

من اكثر التأثيرات العشوائية حدوثا عند التعرض الى الجرعة الواطئة للاشعاع والتي تسبب التلف الجسمي هو الفعل المؤدي الى السرطان (Carcinogenesis) الذي يستند اليه عادة في تقدير الضرر والخطورة الناتجة من التعرض الى الجرعة الاشعاعية الواطئة .
لقد عرفت الاصابة بمرض السرطان دون ان يعرف السبب نتيجة التعرض الى الاشعاع قبل اكتشافه . ومن هذه الحوادث سرطان الرئة الذي كان

يعرف بأنه يصيب العاملين في مناجم اليورانيوم الذين يستشقون الغاز المشع الرادون. لقد كان يعتقد في السنوات الأولى بأن الجرعة الإشعاعية العالية هي المسؤولة فقط عن تسبب مرض السرطان وأنه كان هنالك حد لجرعة آمنة لا يحدث عندها الحث على تكوين أي مرض سرطاني إلا أن الغالبية العظمى من العلماء قد نبذوا هذه الفكرة والاعتقاد السائد الآن أن أي جرعة مهما كانت قليلة يحتمل أن تحفز حدوث مرض السرطان. ولكن هنالك اختلاف كبير في الرأي حول مقدار تأثير الجرعة القليلة. أن السبب في هذا الاختلاف يعود إلى أن مرض السرطان الذي ينتج بسبب الحث الإشعاعي لا يختلف بأعراضه وتطوره عن الأمراض السرطانية التي تحدث في غير المعرضين إلى الإشعاع والتي ربما تحدث من المواد الأخرى التي تحفز مرض السرطان (Carcinogenic agents) أو بواسطة الحث الذاتي (Spontaneous) وبما أن الزيادة في نسبة المصابين بمرض السرطان نتيجة التعرض إلى الجرعة الإشعاعية الواطئة تكون قليلة جداً مقارنة بعدد الأشخاص المصابين بمرض السرطان غير المعرضين إلى الإشعاع فإنه يصعب ملاحظتها نتيجة التذبذب الإحصائي.

كما أن الجرعة الإشعاعية العالية تعطي تحفيزاً واضحاً للإصابة بمرض السرطان ولذلك فإن الطريقة العملية الوحيدة لتقدير الحث على حدوث مرض السرطان للجرعة الواطئة هي تمديد المقياس (Extrapolation) ولكن تمديد المقياس له مشاكله أيضاً وذلك لأن المنحنى البياني لعلاقة حدوث مرض السرطان بالجرعة الإشعاعية غير متفق عليه بالإضافة إلى أن الجرعة الإشعاعية المتسلمة من قبل الأشخاص المعرضين في معظم الحالات لم يجر تخمينها بصورة دقيقة ويعاد النظر حالياً في مقاييس الجرعة التي استعملت لتقدير الضرر للمصابين في مدينتي هيروشيما وناكازاكي اليابانيتين كما أن النماذج المعرضة إشعاعياً والخاضعة للدراسة تتفاوت بدرجة كبيرة بالنسبة لزمن التعرض والجنس وتعرض عموم الجسم أو أجزاء منه.

هنالك فترة كامنة (Latent period) بين حدوث التعرض للإشعاع وظهور مرض السرطان وتختلف هذه الفترة الكامنة حسب نوع المرض

السرطاني والعمر عند التشيع والجرع الاشعاعية وفيما يخص مرض سرطان الدم (Leukemia) فان الفترة الكامنة للبالغين هي 5 سنوات ولكن لانواع اخرى من الامراض السرطانية فان الفترة الكامنة تكون نحو 15 سنة ان مثلا بسيطا يمكن ان يوضح الحالة في الوقت الراهن هو التقرير (BEIR111) الذي اصدرته اكااديمية العلوم الامريكية.

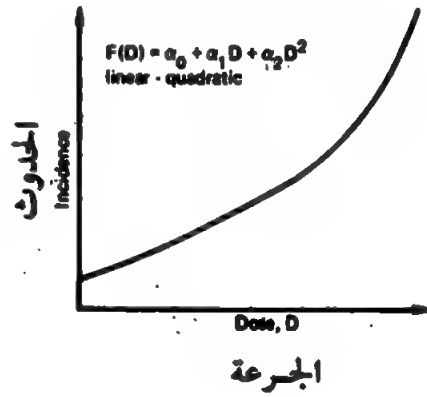
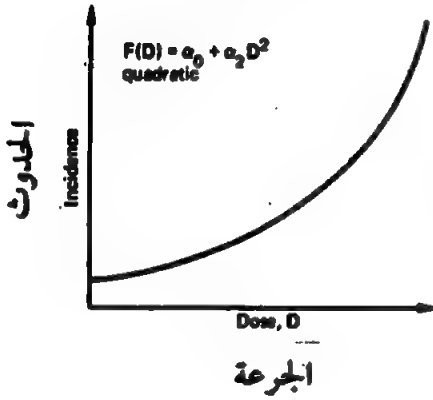
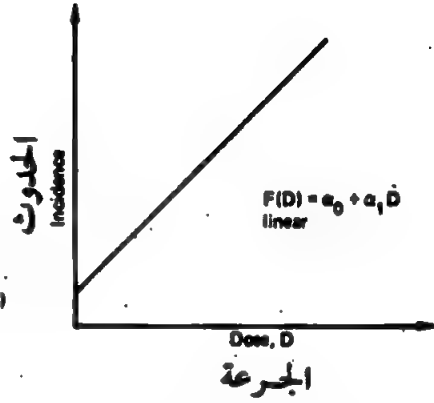
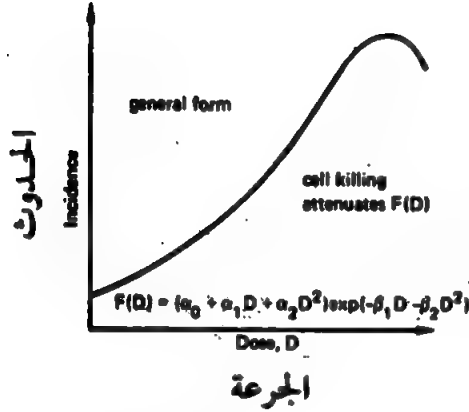
(U.S National Academy of Science)

حيث تحفظ على المادة المتعلقة بتأثير الاشعاع على حث ظهور مرض السرطان بعض اعضاء اللجنة بعد صدوره مما حدا الاكاديمية الى سحبه.

هنالك عدة منحنيات لعلاقة الجرعة بسلوك الحث على مرض السرطان (الشكل 3.3) ان المنحنى أ يمثل علاقة خطية والمنحنى جـ هو من الدرجة الثانية (Quadratic) حيث تتناسب الزيادة في حدوث حالات مرض السرطان مع مربع الجرعة اما النوع بـ فانه يمثل امتزاج الحالتين أ وجـ وهو يمثل علاقة خطية من الدرجة الثانية (Linear quadratic) وهذا يعني ان حدوث مرض السرطان في المرحلة الابتدائية يزداد نسبة الى الجرعة وبعدها يصبح معدل الزيادة اسرع واخيرا يصبح متناسبا مع مربع الجرعة.

هنالك اتفاق على ما يبدو على ان الاشعة نوع LET العالية كالنيوترونات مثلا تنطبق عليها العلاقة الخطية وكذلك الحال لاشعة LET الواطئة كاشعة كاما لبعض الانواع من الامراض السرطانية ولهذا يمكن القول انه لاغراض الوقاية من الاشعاع فان العلاقة الخطية التي ليس لها حد خرج هي المقبولة.

ومن الممكن تلخيص عوامل الخطورة للاصابة بمرض السرطان نتيجة التعرض الى الاشعاع (بالجدول 3.3)



الشكل 3.3 منحنيات الجرعة والاستجابة

المصدر NCRP (1981) 105

الجدول 3.3 معامل الخطورة لامراض السرطان المميتة والعيوب الوراثية

الخطورة 1 / سيفرت	النسيج
40×10^{-4}	^x (الغدد). الانسجة التناسلية
25×10^{-4}	الثدي
20×10^{-4}	نخاع العظام الاحمر
20×10^{-4}	الرئة
5×10^{-4}	الغدة الدرقية
5×10^{-4}	العظام
50×10^{-4}	جميع الانسجة الاخرى وغير محددة

× العيوب الوراثية في اول جيلين

المصدر 64 (1984) 1CRP 40

كما ان مجموع الخطورة الواردة في الجدول يصل الى $10^{-3} \times 12.5$ حالة مرض سرطان مختلفة لكل سيفرت واحد وهذا يعني انه اذا تعرض مجتمع عدد سكانه مليون شخص الى جرعة اشعاعية مقدارها سيفرت واحد فان $10^{-3} \times 12.5$ منهم يتوقع ان يموتوا بالامراض السرطانية الذي حث الاشعاع على حدوثها ومن الممكن ان يكون الحث ضعف هذا العدد عند الاخذ بنظر الاعتبار الامراض السرطانية غير القاتلة وخاصة مرض سرطان الغدة الدرقية الذي تكون نسبة الوفيات للاصابة به قليلة.

2.4.3 الحث على حدوث عتمة عدسة العين (Induction of cataracts)

من جملة التأثيرات العشوائية للاشعاع التأثير في العين. ان لعدسة العين حساسية كبيرة للاشعاع وان تعرضها له قد يسبب تعتم عدسة العين (Lens opacities) الذي يتفاوت في شدته من بقع صغيرة الى العمى الكلي. ومن المعتقد ان جرعة 2 غراي تسبب عتمة واضحة لعدسة العين فيما يخص اشعة كاما والاشعة السينية وتكون هذه القيمة اقل فيما يخص النيوترونات كما ان الفترة الكامنة بين التعرض وظهور العتمة يتراوح بين 1-10 سنة وقد تكون العتمة دائمية او مؤقتة وهذا يعتمد بالطبع على مقدار الجرعة الاشعاعية المتسلمة.

3.4.3 تقصير الحياة (Life shortening)

لقد وجد ان تشعيع جميع اجسام الحيوانات يؤدي الى تقصير عمرها وهناك علاقة خطية بين الجرعة والسلوك لتلك الجرعة حيث انه يحدث تقصير للحياة بنسبة 5% لكل جرعة غراي واحد. ان تقصير الحياة هذه قد ينتج من حدوث مرض السرطان بصورة مبكرة او زيادة في حدوث الامراض غير

الخبيثة وان هذا النوع من التأثير يعتبر تأثيراً غير متخصص (Non specific effect) قد يؤدي الى الشيخوخة المبكرة (Premature aging) في البشر. لقد دلت بعض الدراسات على ان عمر المعالجين بالاشعة (Radiologists) في الولايات المتحدة الامريكية الذين تسلموا جرعات اشعاعية عالية بحكم مهنتهم كان اقل بصورة ملموسة من ذوي الاختصاصات الاخرى.

5.3 تأثير التعرض اثناء الحمل

ان الاجنة البشرية حساسة للتعرض الاشعاعي وقد ثبت ذلك نتيجة التغييرات الخلقية غير المرغوبة التي اصاب اطفال الامهات المعرضات للاشعة المؤينة خلال فترة الحمل بالاضافة الى حدوث ولادات لاطفال ميتين في مدينتي ميروشيما وناكازاكي وان نسباً عالية من الاطفال المتخلفين عقلياً والمشوهين خلقياً قد لوحظت كذلك

ان التعرض في مرحلة الحمل يؤثر على نوعية وتكرار العيوب ويكون الخطر من تشوه الخلقة في المراحل الاولى من الحمل على اشده اما موت الجنين فانه يزداد عند التعرض الى الاشعاع في مراحل الحمل المتأخرة. ان التعرض الى الاشعاع خلال فترة الحمل يزيد كذلك من الحث على حدوث مرض السرطان في اطفال النساء المتعرضات.

6.3 التأثيرات الوراثية (Genetic effects)

لقد كان التأثير الوراثي احد المسائل الاساسية المثيرة للقلق فيما يخص التعرض الى مستويات واطئة من الاشعاع. فقد اكتشف العالم Muller تأثير الاشعاع لتوليد الطفرات الوراثية وقد بدأ في عام 1927 حملة لايضاح مخاطر الاشعاع الوراثية حيث نبه على المخاطر الوراثية المحتملة للتعرض الى الجرعة الاشعاعية الواطئة جداً.

ان التأثيرات الوراثية قد طغت في فترة مبكرة من الزمن على التفكير السائد في لجنة BEIR الاولى وعلى كراسات الهيئة الوطنية الامريكية للوقاية من الاشعاع NCRP وعلى توصيات هيئة البحوث البريطانية

(British Medical Research Council)

اما في الاونة الاخيرة فان الاعتبارات الجسيمة قد طغت على الاعتبارات الوراثية بحيث اصبح لها وزن اكبر في وضع اسس ومقاييس الوقاية من الاشعاع.

لقد كانت المعلومات حول التأثير الوراثي في الخمسينات ايسر مما عليه الان وذلك لقلة المعلومات عندئذ عن اختلاف الجنس والانسجة وانظمة التصليح (Repair systems) او تأثير سرعة عطاء الجرعة حيث ان معظم المعلومات الكمية استنبطت من الدراسات التي اجريت على الحيمن الناضج الذي شمع في ذبابة الفاكهة (Drosophila). وقد اعتقد في حينه ان تلك النتائج تمثل حالة عامة واسعة الانتشار ولكن الدراسات التي اجريت من قبل العالم Russell شككت بالحالة العامة المستنبطة من تعريض حيامن ذبابة الفاكهة. لقد ادرك بعدئذ ان لها خصوصية بعدة امور منها التمثيل الغذائي (Metabolism) وانظمة التصليح والخواص الاخرى التي لها علاقة بالتطهير الوراثي.

ان التقدم العلمي الرائع الذي حدث في علم الحياة الجزيئي (Molecular biology) قد زعزع الثقة السائدة بالتقدير الكمي للخطورة الوراثية على الانسان بدلا من ان يزيدها.

هنالك ابهامان رئيسان في تقدير الخطورة الوراثية اولهما ان المعلومات من الطفرات المحفزة (Induced mutation) في البشر ضئيلة جدا ولو تركنا بعض المعلومات المتعلقة بتكرس الكروموسومات جانبا فان كل التقديرات المتعلقة بتلف المادة الوراثية اي الحامض النووي DNA قد اتت من تمديد المقياس من حيوانات التجارب. لقد ظهر كثير من التوافق بين النتائج المستحصلة من عدة انواع من الحيوانات ولكن هنالك اختلافات ظهرت من

الناحية الكمية بحيث ان الافتراضات حول DNA البشري تعتبر غير مؤكدة وثانيهما انه حتى لو عرفنا التفاصيل الكاملة الدقيقة عن الذي يحدث في الـ DNA الانساني بفعل الاشعاع فانه سوف تكون لنا فكرة ضئيلة عن تأثير هذه التغيرات للاجيال المقبلة. هنالك حاجة انية للاهتمام بدراسة الامراض الوراثية والتأثيرات الوراثية ترمز الى احتمال حدوث تغيرات في المواليد للأشخاص المعرضين للاشعاع او في اجيالهم المقبلة. هنالك نوعان من التلف الذي يمكن ان يحدث مثل هذه التغيرات هما الطفرة الوراثية في الجين (Gene mutation) حيث يحدث تغيير في احد الجينات او التكسر الكروموسومي (Chromosomal aberration) الذي قد يؤثر في عدد من الجينات بنفس الوقت ومن المعتقد بصورة عامة ان النوعين من التغيرات يكونان مؤذيين الى الخلف ولكن نوع ومقدار التلف يختلف بصورة كبيرة جدا. ويتراوح بين التغيير الذي لا يكاد يعرف والتغيير الذي يؤدي الى الموت. يؤدي الموت في الرحم او الموت في الطفولة الى ازالة هذا العيب من الخزين الوراثي (Genetic pool) للسكان بينما تنتقل العيوب غير المميتة من جيل الى جيل اخر. وبعض هذه الطفرات تكون متنحية (Recessive mutations) ولربما تحمل لعدد من الاجيال قبل ان يظهر تأثير الاشعاع.

كما ان اي عيب وراثي قد يظهر نتيجة التعرض للاشعاع ربما يحدث كذلك من جراء الطفرات الوراثية الاخرى الموجودة في السكان. وان 10% من الولادات يحتمل ان تكون حاملة لصفات وراثية ذات عيوب بصورة ذاتية وان التعرض للاشعاع يسبب زيادة في هذه العيوب ويعتمد ذلك على الجرعة الاشعاعية .

ان التأثير الوراثي للاشعاع غالبا ما يعبر عنه بمصطلح الجرعة المثنية (Doubling dose) والتي هي الجرعة الاشعاعية التي تضيف الى الخزين الوراثي نفس العدد من العيوب التي تحدث طبيعياً من الناحية العملية فانه توجد علاقة خطية ما بين الجرعة والتأثير (Constant doubling dose)

وللجينات حساسيات مختلفة للإشعاع وتعتمد الحساسية كذلك على سرعة إعطاء الجرعة وعلى اختلاف الجنس ولهذا فإن الجرعة المثنية تعتبر معدل قيمة تحت ظروف مختلفة، لهذا يصبح من غير الممكن تحديدها بصورة دقيقة. تشمل العيوب الوراثية، الاجهاض وولادة اطفال ميتين والتصاق الاطفال وموت الاطفال الرضع والتكسر الكروموسومي.

الفصل الرابع

مصادر التعرض الى الاشعاع

Sources of Radiation Exposure

الفصل الرابع مصادر التعرض الى الاشعاع

Sources of Radiation Exposure

من الممكن تقسيم مصادر الاشعاع المسببة لتعرض البشر الى مصادر الاشعاع الطبيعية ومصادر الاشعاع الصناعية ومصادر الاشعاع الطبيعية المحورة صناعيا. وبالإضافة الى ذلك فان مصادر الاشعاع اما ان تكون مصادر خارجية وهي تشمل الاشعة الكونية (Cosmic rays) وتعتبر هذه المصادر ذات منشأ غير ارضي (Extraterrestrial origin) ومصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي (Terrestrial origin) ومن امثلتها النويدات المشعة التي في قشرة الارض وكذلك التي في مواد البناء والهواء ومصادر داخلية وهي المؤلفة من العناصر المشعة الموجودة بصورة طبيعية والتي تؤخذ داخل الجسم وتسبب تعرضا داخليا.

1.4 النظائر المشعة الطبيعية (Natural radioisotops)

تقسم النظائر المشعة الطبيعية حسب منشئها الى ثلاثة اقسام القسم الاول منها منشؤه يرجع الى صنعها خلال خلق النظام الشمسي (Solar System) حيث يبلغ عمر النصف لهذه النظائر المشعة نفس عمر الارض (نحو $10^9 \times 5$ سنة) وتشمل هذه المجموعة اليورانيوم - 238 واليورانيوم - 235 والثوريوم - 232 والبوتاسيوم - 40 والرايديوم - 87 والقصدير - 124 واللاثيوم - 138 والسامريوم - 147 والتسيوم - 176 وبعض النظائر المشعة القليلة الوجود جدا، والقسم الثاني وهي النويدات المشعة التي تنتج عن الاضمحلال الطبيعي او الانشطار للمجموعة الاولى ويكون عددها بالعشرات وتتراوح اعمار النصف لها بين اجزاء من الثانية الى $10^9 \times 1$ سنة. والمجموعة الثالثة تشمل نواتج التفاعل بين الجسيمات النووية المشعة والاسواط البيئية مثل الهواء والماء والصخور ومن امثلة هذه المجموعة التريتيوم والبريليوم - 7 والبزليوم - 10 والكاريون - 14 والكلورين - 16 التي تنشأ من التفاعل مع الاشعة الكونية ذات الطاقات العالية (High energy cosmic rays) ان بعض العناصر تتكون نتيجة الاسر النيوتروني (Neutron capture)

او انها من منشأ غير ارضي كالكواكب الصغيرة والكبيرة

(Meteorites and Micrometeorites)

ويمثل الجدول 1.4 مطلقات اشعة كاما التي لا تكون سلسلة وبالإضافة الى ذلك فإن الاشعة الكونية تعتبر من مصادر الاشعاع الطبيعية.

1.1.4 النشاط الاشعاعي في قشرة الارض

(Radioactivity of the earth crust)

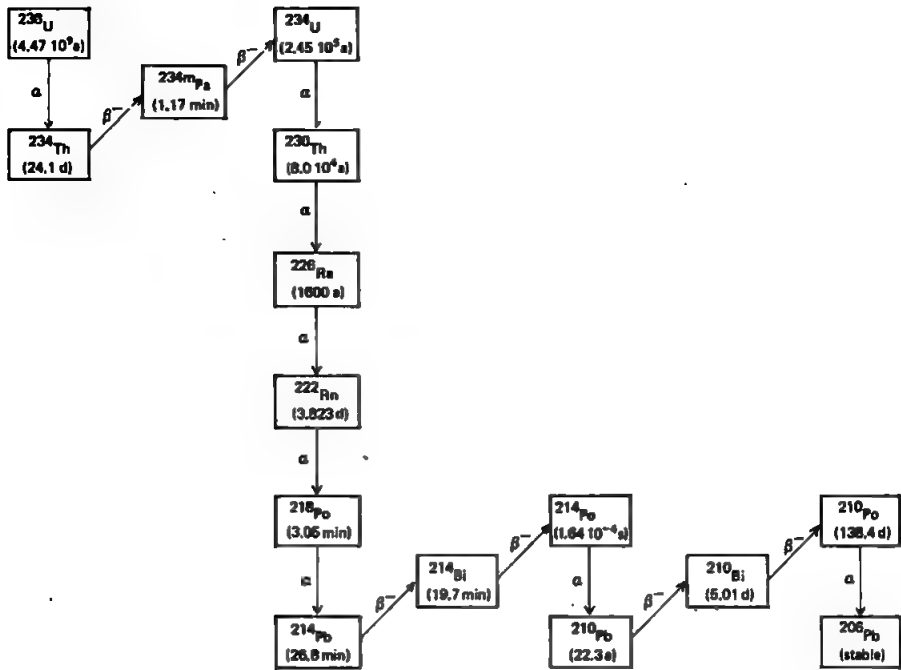
ان النشاط الاشعاعي الذي في قشرة الارض يمثل النويدات المشعة ذات المنشأ الارضي (Primordial radionuclides) مثل البوتاسيوم - 40 وكذلك العناصر المشعة التابعة لسلاسل اليورانيوم - 238 (الشكل 1.4) والثوريوم - 232 (الشكل 2.4) وهي النويدات المشعة التي في قشرة الارض خلال تاريخها الطويل كما ان بعض نواتج الانشطار الذاتي لليورانيوم - 238 تتواجد ايضا بالإضافة الى وجود نواتج الانشطار ذات العمر الطويل (Long Lived Fission Products) ولكن معدل النشاط الاشعاعي الناتج من تراكيز هذه العناصر يكون ضئيلاً جداً .
ويختلف تركيز النشاط الاشعاعي باختلاف الصخور التي تشمل :

الجدول 1.4

مطلقات اشعة كاما التي لا تكون سلسلة

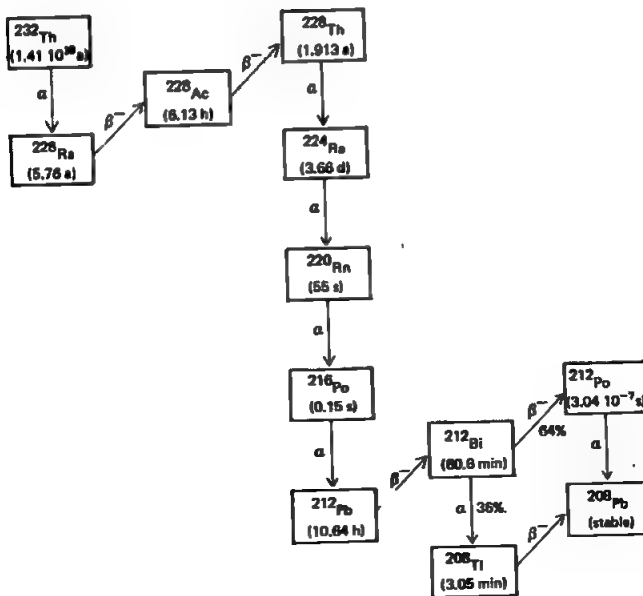
النظير المشع	نصف العمر ($T_{1/2}$)	طريقة الاضمحلال (Decay mode)
البرليوم - 7	53.6 يوم	$4^7\text{Be} \xrightarrow[53.6 \text{ يوم}]{\text{K}, \gamma} {}^7_3\text{Li}$
البوتاسيوم - 40	1.3×10^9 سنة	$19^{40}\text{K} \xrightarrow[1.39 \times 10^9 \text{ سنة}]{\text{K}, \gamma} \begin{cases} 11\% \rightarrow 18^{40}\text{Ar} \\ 89\% \rightarrow 20^{40}\text{Ca} \end{cases}$
اللانثيم - 138	1×10^{11} سنة	$58^{138}\text{La} \xrightarrow[1 \times 10^{11} \text{ سنة}]{\text{K}, \gamma} \begin{cases} 70\% \rightarrow 59^{138}\text{Ba} \\ 30\% \rightarrow 59^{138}\text{Ce} \end{cases}$
اللوتسيوم - 176	2.4×10^{10} سنة	$71^{176}\text{Lu} \xrightarrow[2.4 \times 10^{10} \text{ سنة}]{\text{B}, \gamma} {}^{176}_{72}\text{Hf}$

$\overrightarrow{\text{B}} = \text{B} - \text{decay}$; $\overrightarrow{\text{K}} = \text{K} - \text{capture}$; $\gamma = \gamma$ emission



الشكل 1.4 سلسلة اليورانيوم - 238

المصدر 127 UNSCEAR (1982)



الشكل 2.4 سلسلة الثوريوم - 232

المصدر 127 UNSCEAR (1982)

الصخور البركانية (Magmatic rocks)

ويتعلق تركيز العناصر المشعة في الصخور البركانية بكمية السلكات كما ان قلوية التربة تحدد النشاط الاشعاعي فالصخور الحامضية ذات نشاط اشعاعي اعلى من الصخور الشديدة القلوية.

الصخور الرسوبية (Sedimentary rocks)

عند تكسر الصخور فان اليورانيوم اما ان ينتقل مع بقايا الصخور او ان يذوب في المياه السطحية او المياه الجوفية وهو ينتقل بصورة رئيسة على شكل مركبات كاربونية في القعر الرسوبي وفي هذه الحالة فان الترسبات التي في قعر المياه كالطمي تصبح غنية باليورانيوم. ان مركبات الثوريوم تكون عمليا غير ذائبة وهي بذلك اما ان تبقى في محلها في بقايا الصخور المتفتتة وتدخل في تركيب املاح ثابثة مثل المونوزايت الذي يحوي على تراكيز عالية من الثوريوم.

النشاط الاشعاعي في التربة (Soil radioactivity)

يعتمد النشاط الاشعاعي في التربة على النشاط الاشعاعي في الصخور التي كونت التربة وعلى الفعاليات الكلية التي حدثت لتكوين التربة. واعلى تركيز لليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم يكون في ترب ناشئة من صخور بركانية حامضية وطمى.

2.1.4 النشاط الاشعاعي في الماء

يكون تركيز اليورانيوم والثوريوم في المياه $10^3 - 10^4$ مرة اقل من تركيزهما في التربة والصخور وان هنالك تغيرا حادا في الموازنة بين الاهد والبنات كما ان تركيز اليورانيوم غالبا ما يطغي على تركيز الثوريوم كما انه يوجد من الرادون كميات اكبر بصورة ملموسة من الراديوم في المياه (الجدول 2.4) تكون نسبة اليورانيوم في المياه الطبيعية قليلة الا ان ماء الحنفية قد يحوي في بعض المناطق تراكيز عالية جدا حيث وجد ان بعض انواع المياه في الاتحاد السوفيتي تحوي على تراكيز عالية جداً (2.6 KBq لكل متر مكعب) كما ان

تركيز مياه الابار في بلدان اخرى فنلندا مثلاً قد يصل الى $10^2 \times$ بكريل للمتر المكعب الواحد ويعتقد ان السبب في ذلك يرجع الى وجود بعض المناطق الموضعية الغنية باليورانيوم.

الجدول 2.4 تركيز النظائر المشعة في الماء

النظير المشع	التركيز في المياه العذبة بكريل / متر مكعب	التركيز في المحيطات بكريل / متر مكعب
^{10}Be	0.008	1.5×10^{-4}
^{14}C	1.8	3.3 – 5.2
^{144}Ce		0.1 – 24
^{137}Cs	3.7 – 37	2.1 – 60
^3H	متغير	24
^{40}K	15 – 300	12000
^{210}Pb	3 – 8	0.17
^{210}Po	0.5 – 2.6	0.93
^{90}Sr	7 – 70	1.7 – 35
^{238}U	4.8	41

H.J.M. Bowen (1979)

المصدر 5

اما الراديوم - 226 فان نسبته في المياه السطحية قليلة مقارنة بالمياه المعدنية ومياه الابار.

3.1.4 النشاط الاشعاعي في الهواء

يأتي النشاط الاشعاعي في الهواء من عدة مصادر وهي انبعاث (Emanation) من السلاسل المشعة (Radioactive series) وبصورة رئيسة الرادون والثورون ونواتج اضمحلالها (حيث تمر الغازات المتحررة عن طريق

الاعوية الشعيرة للترية) .

كما ان النشاط الاشعاعي لطبقات الجو الدنيا (Troposphere) التي يتراوح ارتفاعها من صفر لغاية 10 الى 15 كم يأتي من الرادون والثورون ومن نواتج اضمحلالهما وبالدرجة الاساس النظائر المشعة القصيرة العمر مثل البولونيوم - 218 والرصاص - 218 والبزموت - 214 وبينما تضيف النظائر المشعة الطويلة العمر مثل الرصاص - 210 والبزموت - 210 والبولونيوم - 210 اعدادا قليلة في المائة.

وتقل تراكيز المواد المشعة المنبعثة ونواتج اضمحلالها القصيرة العمر كلما زاد الارتفاع كما ان تراكيز العناصر المشعة المنبعثة في طبقة الهواء الارضية تكون اكثر من 100 ضعف فوق اليابسة من سطح البحر ان تراكيز العناصر المشعة الطبيعية التي في الجو موضحة في الجدول 3.4 وتتغير تراكيز العناصر المشعة في الجو باختلاف الوقت.

واعلى تركيز للرادون يتم ملاحظته في ساعات النهار واقل تركيز يكون في فصل الصيف واعلى تراكيز في فصلي الخريف والشتاء.

ويؤدي سقوط الامطار بصورة كثيفة الى تنقية الجو نتيجة سحب الجزيئات المشعة العالقة من قبل قطرات المطر وجسيمات الثلج كما ان المصدر الرئيس لليورانيوم الطبيعي والراديوم - 226 في الجو هو تطاير ذرات الغبار من الارض واعادة تعلقها في الجو ويقدر تركيز الفعالية لليورانيوم الطبيعي في الهواء الملامس لسطح الارض بـ 1.2 MBq لكل متر مكعب.

الجدول 3.4 معدل تركيز الغازات المشعة في الهواء بكريل لكل متر مكعب

الغاز	بكريل / متر مكعب في troposphere	بكريل / متر مكعب في Stratosphere
$^{14}\text{CO}_2$	0.0437	0.0437
^{37}Ar	0.0041	0.00045
^3HOH	0.13	0.0015
^{81}Kr		0.000018
^{85}Kr	0.62	0.62
^{220}Rn	قليل جدا	0.07 - 2
^{222}Rn	قليل	0.2 - 100

H.J.M. Bowen (1979)

المصدر 5

يحتوي الهواء كذلك على الرادون - 222 ونواتج اضمحلاله القصيرة العمر مثل البولونيوم - 218 والرصاص - 214 والبزموت - 214 والبولونيوم - 214 . ان معدل تركيز الرادون - 222 المكافئ في الهواء المحصور داخل الابنية يبلغ عشرة اضعاف تركيزه في الهواء الطلق . اما نواتج اضمحلال الرادون - 222 الطويلة العمر كالرصاص - 210 والبزموت - 210 والبولونيوم - 210 فان المصدر الرئيس لها في الجو هو انبعاث الرادون - 222 من الارض .

كما ان انتقال الثوريوم - 232 الى الجو يكون بفعل تطاير الغبار وهناك كميات من الرادون - 220 ونواتج اضمحلاله القصيرة العمر مثل البولونيوم - 216 والرصاص - 212 والبزموت - 212 والبولونيوم - 212 التي في الجو كذلك .

4.1.4 العناصر المشعة في الكائنات الحية

يكون النظير المشع البوتاسيوم - 40 واسع الانتشار في الكائنات الحية وهو الذي يحدد بالدرجة الاولى النشاط الاشعاعي في المواد الحية. يعتبر البوتاسيوم من العناصر الاساسية في الجسم ويخضع تركيزه فيه الى حالة تنظيم داخلي (Homeostatic control) ومعدل تركيز البوتاسيوم في جسم الذكور البالغين هو غرامان لكل كيلو غرام من الجسم وبذلك يكون تركيز الفعالية هو 60 بكريل لكل كيلو غرام كما تبلغ مكونات النباتات من البوتاسيوم - 40 نحو 0.05% من الوزن الرطب.

تعتمد مكونات النباتات من اليورانيوم والثوريوم والراديوم الى درجة كبيرة على النشاط الاشعاعي للوسط المحيط وهذه النباتات لا تستطيع عمليا الاحتفاظ بالرادون والثورون حيث يبلغ انبعاثهما 100% .
يبلغ ما يؤخذ من اليورانيوم - 238 في الاغذية سنويا نحو 5 بكريل في المناطق التي يكون النشاط الاشعاعي طبيعيا فيها. وتركيز الفعالية لليورانيوم في جسم الانسان يقدر بنحو 0.15 بكريل لكل كيلو غرام من العظام و $10^{-3} \times 5$ بكريل لكل كيلو غرام في الانسجة الطرية.

ان الثوريوم في جسم الانسان يتركز في العظام وهذا التركيز يزداد بتقدم العمر ويبلغ تركيز الفعالية للثوريوم في العظام $10^{-2} \times 4$ بكريل لكل كيلو غرام من العظام ويقدر بـ $10^{-4} \times 3$ بكريل لكل كيلو غرام في الانسجة الطرية.
وتركيز الراديوم - 226 في الانسجة الطرية للبشر يبلغ حوالي 2.7 MBq.

ويمثل البولونيوم - 210 حالة مهمة في الكائنات الحية وذلك يأتي بسبب انه موجود في التبوغ حيث تحوي السجائر على نحو 15 MBq منه وانه كذلك يتركز في الاجزاء التي تؤكل من الاحياء البحرية.

5.1.4 الاشعة الكونية

تعتبر الاشعاعات ذات الطاقات العالية التي تدخل الى فضاء الارض من الفضاء الخارجي من الاشعاعات الكونية الابتدائية (Primary cosmic rays) وعندما تتفاعل هذه الاشعة مع نوى الذرات في الفضاء تتولد كذلك جسيمات ثانوية (Secondary particles) مصحوبة باشعة كهرومغناطيسية وتعتبر هذه هي الاشعة الكونية الثانوية (Secondary cosmic rays)

الاشعة الكونية الابتدائية

تتولد معظم الاشعة الكونية الابتدائية من مجموعة كواكب الارض وبالإضافة الى ذلك فان هذه الاشعة الكونية تأتي من الشمس (Solar cosmic rays) عند حدوث الانفجارات الشمسية (Solar flares)

الاشعة الكونية الناتجة من الكواكب

تتألف هذه الاشعة من بروتونات ذات طاقات عالية تدخل المنظومة الشمسية من الفضاء الخارجي بالإضافة الى ايونات الهيليوم التي تؤلف نحو 10% ونسباً قليلة من جسيمات ذات طاقات اعلی والكزونات وفوتونات ونيوترينات (Neutrinos).

الاشعة الكونية الشمسية الابتدائية

ان كميات كبيرة من الطاقة تتحرر من الجسيمات المشحونة التي تكون بالدرجة الاولى من بروتونات وجسيمات الفا نتيجة للانفجارات الشمسية ولكن هذه الجسيمات تكون ذات طاقات واطئة نسبياً.

الاشعة الكونية الثانوية

عندما تدخل الجسيمات الابتدائية للاشعة الكونية الغلاف الجوي فانه تحدث تفاعلات نووية من نوع تفاعلات التشظي مع نوى الذرات التي في الهواء مما يولد نيوترونات وبروتونات وبايونات (Pions) وكونات (Kaons) وبعض نواتج التفاعل الاخرى.

كما ان البروتونات والنيوترونات والبايونات ذات الطاقات العالية تتفاعل مرة اخرى مع النوى التي في الهواء مولدة جزيئات ثانوية اكثر وتدعى هذه العملية السلسلة (Cascade)

6.1.4 النويدات المتولدة بفعل الاشعة الكونية

(Cosmogenic radionuclides)

وتشمل هذه النويدات المشعة التريتيوم والبرليوم - 7 والكاربون - 14 والصوديوم - 22. ان المصدر الرئيس للتريتيوم هو الغلاف الجوي وهو يتولد من تفاعل النيوترونات التي في الاشعة الكونية مع النايروجين والاكسجين. ان كمية التريتيوم التي في الجو تقدر بـ 10×1.3 بكريل وتتحول 99% من هذه الكمية الى ماء محتو على التريتيوم (Tritiated water) ويشارك هذا النوع من الماء في دورة المياه الطبيعية. ان النشاط الاشعاعي للمسطحات المائية قبل حصول التفجيرات النووية كان يتراوح بين 200 الى 900 بكريل في المتر المكعب الواحد لمياه القارات و 100 بكريل لبلمتر المكعب لمياه المحيطات. ان التريتيوم يدخل في النباتات المستعملة في الاكل على هيئة ماء محتو على التريتيوم او على شكل مادة عضوية.

ان تركيز البرليوم - 7 في المناطق الحارة يبلغ 3 مليكريل في المتر المكعب من الهواء السطحي ونحو 700 بكريل في المتر المكعب الواحد من مياه الامطار. ان طريق انتقال البرليوم - 7 الرئيس الى الانسان

هو طريق تناول الخضروات الورقية .
يتكون الكربون - 14 الطبيعي في اعالي الجو بواسطة التفاعل
 $N^{14}(n/p)C^{14}$ الذي يحفز بواسطة النيوترونات الكونية اما الصوديوم - 22
فان تركيزه في الجو يكون قليلا جداً .

2.4 المواد المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية

تستعمل الطاقة النووية بالدرجة الاساس لتوليد الطاقة الكهربائية
وذلك بتشغيل المحطات الكهرونووية مما يتطلب الحصول على الوقود
النووي كاليورانيوم مثلاً الذي يستخرج من المناجم ويطحن (Mining and
Milling) . وقد يدعو تصميم المحطات الكهرونووية الى استعمال وقود نووي
يكون اكثر تخصيباً من اليورانيوم الطبيعي ويشمل التخصيب عادة اضافة
اليورانيوم - 235 وبعد هذه العملية يتم تصنيع قضبان الوقود (Fabrication
of fuel elements) الذي يستعمل في انتاج الطاقة الكهربائية في المحطات
الكهرونووية وهناك انواع من هذه المحطات تستعمل انواع اخرى من الوقود
يحصل عليها عادة باستخلاصها من الوقود الذي سبق استعماله

(Reprocessing of irradiated fuel elements)

وتنشأ عن تشغيل المحطات الكهرونووية نفايات مشعة (Radioactive
waste) يجري ردمها (Disposal) اضافة الى ذلك فان مواد الوقود النووي
تنقل بين المنشآت المختلفة في مراحل توليد الطاقة الكهرونووية .

ان معظم المواد المشعة المتولدة من فعاليات انتاج الطاقة الكهرونووية
تنتج عن تشيع الوقود النووي ويضيف التنشيط النيوتروني لمواد الهيكل
وحاويات الوقود (Cladding) وكذلك وجود بعض النظائر المشعة الطبيعية في
مراحل التعدين والطحن الى هذا النشاط الاشعاعي .

ان معظم النظائر المشعة التي تطرح الى البيئة تؤثر في المواقع التي تتواجد
فيها المنشآت النووية والتي قد تسبب بعض القلق الا ان الكثير من هذه النظائر

المشعة ذات عمر نصف قصير جدا بالاضافة الى محدودية حركتها في البيئة وهناك بعض النظائر المشعة ذات عمر نصف طويل وهي سريعة الانتشار في البيئة مما يسبب انتشارها عالمياً.

1.2.4 المواد المشعة الناتجة من تعدين وطحن اليورانيوم

يوجد اليورانيوم على شكل خامات في عدد من بلدان العالم ويحصل عليه بواسطة التعدين. ان عمليات تعدين اليورانيوم تتضمن ازالة كميات كبيرة من خامات اليورانيوم من باطن الارض حيث تحتوي هذه الخامات على اليورانيوم وبناته بتركيز تبلغ عدة الاف اضعاف هذه النظائر المشعة التي في البيئة الارضية ويبلغ تركيز اليورانيوم في الخامات بعد التعدين بين 0.1 الى نحو 3% من اوكسيد اليورانيوم (U_3O_8). ان المصدر الرئيس للاشعاع في التعدين تحت الارض لليورانيوم هو الرادون - 222 ان الخطوات التي تمثل تولد مصادر رئيسة للاشعاع في عمليات الطحن هي عملية التكسير والتجفيف وتعبئة مسحوق اليورانيوم الاصفر (Yellow cake). ان الرادون - 222 هو المكون الوحيد للغازات المشعة المطروحة من المناجم عن طريق التهوية حيث تطرح كميات كبيرة منه في الهواء. ان النفايات المشعة السائلة ترمى في برك يتم فيها ترسيب المواد الصلبة وتبخير الماء. وتتولد كذلك في عمليات التعدين والطحن مصادر اشعاعية صلبة تشمل الصخور والخامات الرديئة النوعية.

كما ان كمية الرادون - 222 المتولدة من التعدين تتراوح بين

0.1 GBq الى 0.2 GBq لكل طن من اليورانيوم الخام.

تولد مطحنة اليورانيوم غبارا مشعا يطرح الى الجو يأتي بالدرجة الاساس

من عملية تجفيف المسحوق الاصفر ومن عملية تعبئته ويكون هذا الغبار حاويا

بالدرجة الاساس اليورانيوم - 238 والثوريوم - 232

والراديوم - 226 والرصاص - 210 والراديون - 222. تكون بقايا مطاحن اليورانيوم مصادر للإشعاع حتى بعد إيقاف هذه المطاحن عن العمل ومن الممكن ان تكون مصدرا للتلوث لوقت طويل وذلك عن طريق الريح والتآكل الحاصل بواسطة الماء وانبعث الراديون والوقاية من هذه الحالة تتم باستعمال مواد محلية لتغطية البقايا كالخضو والطحن او الاغطية الصناعية ومواد الاغلاق مثل الاسفلت. وبالرغم من ان البقايا تحوي بضعة اجزاء بالمائة فقط من اليورانيوم الاصلي فان المصدر الرئيس للإشعاع هو الثوريوم - 230 الذي يكون عمر النصف له $10^8 \times 8$ سنة حيث يقوم بإنتاج الراديوم - 226 الذي يطلق الراديون.

2.2.4 المواد المشعة الناتجة من تصنيع الوقود النووي

يعامل مركز خامات اليورانيوم الناتج في المطاحن بصورة اكثر وينقى وغالبا ما يخصب باليورانيوم - 235 قبل ان يحول الى اوكسيد اليورانيوم الذي تصنع منه قضبان الوقود ويتم التخصيب بزيادة نسبة اليورانيوم - 235 ويجري عادة في معامل تنافذ الغازات (Gaseous diffusion plants) حيث يتم الضخ خلال سلسلة من الاغشية المسامية التي تعرقل مرور النظائر المشعة الاكثر ثقلا.

تولد عمليات التخصيب كميات كبيرة من اليورانيوم المستنفذ (Depleted uranium) الذي يصبح مصدراً لتعرض السكان فيما اذا ردم او خزن لغرض تحويله الى البلوتونيوم - 239 القابل للانشطار.

ان معظم المصادر الاشعاعية المتولدة من عملية تصنيع الوقود تكون صلبة وان قسما منها يكون على شكل مواد سائلة تجمع في خزانات للترسيب او في برك وان هذه المواد تكون محتوية على الثوريوم - 230 والراديوم - 226 بالاضافة الى اليورانيوم - 235 واليورانيوم - 234 والثوريوم - 234

3.2.4 المواد المشعة الناتجة من تشغيل المحطات الكهرونووية

تتولد نواتج الانشطار خلال فترة توليد الطاقة من قبل المفاعلات النووية وتتكون نواتج الانشطار هذه في الوقود النووي بالإضافة الى ان النيوترونات تولد مكونات مشعة في الهياكل وحاويات الوقود. ان الفعالية الاشعاعية توجد كذلك في وسط التبريد وذلك لانه يصبح مشعاً بالإضافة الى تسرب المواد المشعة بطريقة الانتشار نتيجة وجود بعض التلف في جزء قليلا من حاويات الوقود بالإضافة الى الصدا الذي يحدث في مواد الهيكل ومواد حاويات الوقود. وتكون لجميع المفاعلات أنظمة معاملة لغرض ازالة الفعالية من النفايات المشعة السائلة والغازية التي تنتج من التسرب خارج قلب المفاعل او نتيجة تنظيف وسيلة التبريد.

كما ان طرح النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي الواطئ يتم تنظيمه ومراقبته وتعتمد كميات المواد المشعة المطروحة من المفاعلات على تصميم المفاعلات وعلى محطة معاملة النفايات المستعملة.

والمواد المشعة المطروحة الى الجو تتكون من الغازات النبيلة (Noble gases) الناتجة من عملية الانشطار مثل غازي الكريبتون (Krypton) والزنون (Xenon) والغازات الناتجة عن عملية التنشيط (Activation gases) مثل الكربون - 14 والنايتروجين - 16 والكبريت - 35 والاركون - 41 والتريتيوم واليود والجسيمات (Particulates).

كما ان المواد المشعة السائلة التي تطلق الى البيئة المائية تشمل التريتيوم ونواتج الانشطار (Activation products) ونواتج التآكل المنشطة (Activated corrosion products)

غازات الانشطار النبيلة

يوجد في الاقل تسعة نظائر مشعة للكريبتون واحد عشر نظيراً مشعاً للزنون تنتج من عملية الانشطار. ان لمعظم هذه النظائر عمر نصف قصير

جدا (ثوان او دقائق) وتنحل قبل ان تنتقل بصورة ملموسة من الوقود. تتحرر النفايات المشعة الغازية خلال عملية تنظيم التركيب الكيماوي والتنقية لماء التبريد في الدورة الاولى والتي تحفظ تحت الضغط في خزانات بين 30 - 120 يوما لغرض انحلال العناصر المشعة القصيرة العمر. اما الغازات المشعة الاخرى فانها تنشأ من مكثف الغادم الذي في دورة البخار ودورة التبريد الثانية وتهوية بناية المفاعل ومن ضمنها تنفيس الحاوية الحاجزة وفي الالات التوربينية وبناية التهوية المساعدة. ويمثل الجدول 4.4 الغازات النبيلة المطروحة من مفاعلات PWR حيث يلاحظ ان النسب تتفاوت ولا تتبع نمطا معيناً حيث تختلف الغازات المطروحة من مفاعل لآخر اختلافا كبيرا وذلك لاختلاف التصميم وفترات الاشتغال والادامة غير المنتظمة ولهذا قد يلجأ احيانا الى ايجاد معدل الغازات النبيلة المطروحة عن طريق تقسيم الكمية الكلية المطروحة سنويا على كمية الطاقة الكهربائية المتولدة فعلا.

الجدول 4.4 التركيب النظائري للغازات النبيلة المطروحة من مفاعلات

PWR

الغازات النبيلة المطروحة

⁴¹Ar ^{86m}Kr. ⁸⁵Kr. ⁸⁷Kr. ⁸⁸Kr. ^{136m}Xe. ^{133m}Xe. ¹³³Xe. ^{135m}Xe. ¹³⁵Xe. ¹³⁸Xe

← TBq →

الطاقة الكهربائية

[MW(e)a]

11	0.01	0.78	0.062	0.007	35	1.4	95	—	5.1	0.01	221
0.011	0.043	0.05	—	0.04	—	0.12	8.4	—	0.56	—	250
0.033	0.11	0.74	—	—	0.36	0.018	25	—	1.9	—	355
0.3	3.2	0.20	0.49	1.7	0.11	2.8	289	—	24	—	397
0.078	0.01	0.48	0.004	0.016	—	0.19	25	—	0.24	—	440
	0.051	37	0.13	0.12	1.5	0.29	155	0.027	1.1	0.13	493
0.92	4.9	2.9	5.0	10	31	4.9	492	0.41	9.4	4.7	592
0.11	0.42	0.038	0.034	0.058	0.092	0.28	32	0.13	1.4	0.016	631
0.1	0.03	0.048	0.09	—	—	0.068	25	—	0.71	—	865
0.005	0.005	1.3	0.036	—	0.045	0.048	0.14	363	—	13	1161
0.28	0.062	0.097	—	1.5	8.8	0.63	1132	—	118	—	1238
0.019	0.007	326	—	—	—	0.88	70	—	7.8	—	1373

المصدر UNSCEAR (1982) 127

ويؤلف غاز الزنون - 133 معظم هذه الغازات ويبلغ عمر النصف لهذا النظير المشع 5.3 يوم وهناك نظائر أخرى تكون موجودة بصورة ملموسة مثل الزنون - 135 ولكن عمر النصف له يبلغ 9.2 ساعة فقط. اما مفاعلات BWR فان طرح الغازات النبيلة المشعة لا يعتبر مهما ومع هذا فان كميتها ونسبتها تختلف بعضها عن بعض كثيرا وذلك لاختلاف زمن الاحتفاظ (Hold - up time) حسب نوع المفاعلات.

غازات التنشيط

تطرح المفاعلات المبردة بالغاز غازات التنشيط بدل الغازات النبيلة بصورة عامة وغازات التنشيط هذه تنتج من التنشيط المباشر للاوكسجين الذي في ثاني اوكسيد الكربون مكونا غاز النايروجين - 16 الذي يكون احد المصادر الرئيسة للاشعاع في محطات توليد القوى النووية حيث يعطي تعرضا خارجيا من مجال اشعة كما حيث ان الفوتونات الناتجة من انحلاله لها طاقات 6.1 MeV و 7.1 MeV وكذلك غاز الاركون - 41 الناتج من الاركون - 40 المستقر. ان المصدر الاساسي للاركون 41 في المفاعلات المبردة بالغاز هو تسرب غاز التبريد الى الجو حيث قد يبلغ المطروح منها في هذه الحالة $0.1 \text{ PBq [GW(e)a]}^{-1}$ وهناك عدد اخر من غازات التنشيط المطروحة من المفاعلات المبردة بالغاز مثل الكبريت - 34 الذي يتكون من الكبريت الذي في الكرافايت المكون لقلب المفاعل وهو ينتج كذلك من الكلور - 35 الذي يوجد بصفة شوائب.

التريتيوم

يتولد التريتيوم من الانشطار الثلاثي في الوقود النووي ومن تفاعلات التنشيط النيوتروني مع نظائر الليثيوم والبورون المشعة التي تكون ذائبة وعلى

تماس مع ماء التبريد في الدورة الاولى والهيدوجين الثقيل (Deuterium) لمفاعلات HWR الذي يستعمل للتهدة والتبريد.

وتبلغ كميات التريتيوم المقذوفة الى الجو من مفاعلات BWR المعدلة $3.4 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ اما مفاعلات LWR فان القيمة المقدرة تبلغ $630 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ وتقدر القيمة المعدلة لمفاعلات PWR بـ $7.8 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ اما النفايات المشعة السائلة فان متوسط المطروح المعدل لعدة سنوات يبلغ $1.4 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات PWR و $38 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات PWR.

اما المفاعلات المبردة بالغاز فانها تطرح $25 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ من التريتيوم معدلا سنوي. ان اعلى تركيز للتريتيوم في النفايات المشعة السائلة هو المطروح من مفاعلات HWR ويمتوسط مقداره $421 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

الكاربون - 14

يعتبر ما يطرح من الكاربون - 14 مهما جدا وذلك لعمر نصفه الطويل 5730 سنة) بالرغم من ان الكمية المطروحة تكون قليلة عادة. ان الكاربون - 14 يتكون في مفاعلات LWR من الاوكسجين - 17 الذي في الوقود النووي ومن المهدىء ومن النايروجين - 14 الذي يكون بصفة شوائب في الوقود وكذلك بواسطة الانشطار الثلاثي.

ان الكرافايت يتكون المصدر الرئيس للكاربون - 14 في المفاعلات المبردة بالغاز والمهدئة بالكرافايت. ان انتاجه من ثاني اوكسيد الكاربون المستعمل في التبريد يعطي اجزاء في المائة فقط من المجموع الكلي للمصادر الاخرى المولدة للكاربون - 14.

كما ان الكمية المطروحة من الكاربون - 14 لمفاعلات LWR تقدر بـ $1.9 \text{ TBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ وهو ينتج عن طريق التسرب من دورة التبريد الاولى التي

تحتوي فعالية تطرح الى الغاز المبرد نتيجة تآكل المهديء (الكرافايت) وتقدر الكمية المطروحة من الكاريون - 14 من مفاعلات الماء الثقيل المعدلة

$$10TBq \cdot G \cdot w \cdot [(e)a]^{-1}$$

iodine اليود

ينتج عنصر اليود المتطاير بفعل عملية الانشطار والكمية المنتجة لا تعتمد فيما اذا كان اليورانيوم او البلوتونيوم يستعمل بصفة وقود. ان نظائر اليود المشعة المهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع هي اليود - 129 حيث يكون عمر النصف له $10^7 \times 1.6$ سنة واليود - 131 الذي يكون عمر النصف له 8.05 يوم واليود - 132 الذي يكون عمر النصف له 2.3 ساعة واليود - 133 بعمر نصف مقداره نصف ساعة واليود - 134 بعمر نصف مقداره 53 دقيقة واليود - 135 الذي يبلغ عمر النصف له 6.7 ساعة.

ونظرا لعمر النصف القصير لنظائر اليود المشعة ما عدا اليود - 129 فان الفعاليات تكون في حالة توازن بسرعة ويعتمد المطروح على عدد العيوب في الوقود ومعدل تسرب وسط التبريد. واليود - 131 مهم جدا وذلك لسرعة انتقاله في البيئة وتأثيره المتخصص على الغدة الدرقية.

هنالك اختلافات واسعة بين الكميات المطروحة الى الجو من نظائر اليود وحتى المكونات من هذه النظائر لما هو مطروح وذلك لاختلاف طرائق معاملة النفايات. ان الكمية السنوية المطروحة من اليود لمفاعلات PWR تبلغ $410GBq \cdot [GW(e)a]^{-1}$ بينما يبلغ المطروح لمفاعلات BWR $5GBq \cdot [GW(e)a]^{-1}$ ومفاعلات LWR مقداره $3.1GBq \cdot [GW(e)a]^{-1}$ في الولايات المتحدة الامريكية للسنوات 1975 - 1979 .

وتعتمد كمية اليود المطروحة اعتمادا كبيرا على نوع المنظومة المستخدمة في الترشيح .

الجسيمات في النفايات المشعة المطروحة في الهواء

تنتج الجسيمات الفعالة بصورة مباشرة من انحلال الغازات النبيلة او ربما تنتج من تآكل المواد في دورة التبريد الاولى، ان الرذاذ الذري (Aerosol) يتولد بفعل التسرب الذي يحدث في دورة التبريد الاولى الفعالة. ان الهواء الذي في المناطق التي يحتمل ان يتولد فيها الرذاذ الذري ينظف بصورة مستمرة حيث تحجز الفعالية على مرشحات ذات كفاءة عالية للجسيمات (HEPA) حيث تقوم هذه المرشحات بحجز كافة الجسيمات ما عدا جسيمات الرذاذ الذري الصغيرة جدا. كما ان ما هو مطروح من الجسيمات الفعالة قليل جدا ويكون تركيب المطروح من النظائر المشعة صفة من صفات المنشأة النووية الخاصة اذ انه يعتمد على الشوائب التي في الحاويات وفي مواد الهيكل وكيمياء وسط التبريد والطرائق التي يحدث فيها الخلل في الوقود (Fuel failure modes) وتختلف الكميات المطروحة كذلك بين وقت وآخر وذلك لاختلاف طرائق التشغيل والادامة.

وقد يكون عدد النظائر المشعة المطروحة كبيرا جدا نتيجة للعوامل التي ذكرت اعلاه.

ان النظائر المشعة التي ميزت في عدد من المنشآت هي ^{7}Be و ^{22}Na و ^{24}Na و ^{51}Cr و ^{56}Mn و ^{59}Fe و ^{57}Co و ^{58}Co و ^{60}Co و ^{63}Ni و ^{65}Zn و ^{75}As و ^{86}Rb و ^{89}Sr و ^{90}Sr و ^{91}Sr و ^{95}Zr و ^{97}Zr و ^{95}Nb و ^{99}Mo و $^{99\text{m}}\text{Tc}$ و ^{103}Ru و ^{105}Ru و ^{106}Ru و ^{105}Ag و $^{107\text{m}}\text{Ag}$ و ^{113}Sn و ^{115}Ca و ^{122}Sb و ^{124}Sb و ^{125}Sb و $^{123\text{m}}\text{Sn}$ و $^{123\text{m}}\text{Te}$ و ^{134}Cs و ^{137}Cs و ^{139}Cs و ^{140}Ba و ^{149}La و ^{141}Ce و ^{182}Ta

ولهذا فان ايجاد معدل تركيز النظائر المشعة التي في الجسيمات المطروحة من قبل

المفاعلات النووية صعب بالاضافة الى انه لا يعني الشيء الكثير. ان النتائج والدراسات المنشورة لا تدل على ان اي نظير مشع قد يسود على بقية النظائر المشعة في اي مفاعل ان المعدل للجسيمات المطروحة لمفاعلات PWR الى الجيوبلغ $2.2\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ ولمفاعلات BWR الى الجيوبلغ $52.7\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ والجسيمات الفعالة المعدلة من مفاعلات GCR يبلغ $1.0\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ بينما قد بلغت هذه الجسيمات $0.044\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات HWR وللمفاعلات السريعة من نوع فينكس (Fast reactor Phenix) مقدار $4.8\text{MBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

النفايات المشعة السائلة

ان مصادر النظائر المشعة في النفايات المشعة السائلة ما عدا التريتيوم هي نفسها التي ذكرت للجسيمات الفعالة التي تطرح الى الجيوبلها نفس الاختلافات من حيث الكمية والتركيب. كما ان كمية وتركيب النفايات المشعة يعتمد على تصميم المفاعل وعلى طرائق تشغيله وكذلك على الشوائب التي في محتويات وهيكل حاويات الوقود. وتبلغ النفايات المشعة المعدلة المطروحة المبنية على النفايات المطروحة لكل نوع من المفاعلات باستعمال معدل انتاج الطاقة الكهربائية لعدة سنوات

PWR: $190\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

BWR: $309\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

GCR: $4767\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

HWR: $475\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$

لقد وجد في بعض مفاعلات PWR و BWR ان السيزيوم - 137 كان يمثل 35% والسيزيوم - 134 يمثل 10% من مجموع النفايات المشعة السائلة المطروحة بينما قد تبلغ نسبة السيزيوم نحو 70% من الفعالية التي في

النفايات المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات GCR. اما بالنسبة الى مفاعلات LWR فان النفايات المشعة السائلة تحتوي على عدد من النظائر المشعة التي تساهم بالباقي مثل الكوبلت - 60 والكوبليت - 58 حيث يكونان 65% من الفعالية في مفاعلات PWR بينما نظائر اليود المشعة تكون نسبة 6% . اما مفاعلات BWR فان نظائر الكوبلت تساهم بنحو 10% من الفعالية التي في النفايات السائلة واليود 5% في النفايات المشعة المطروحة سنويا.

ان طرح اليود - 131 في النفايات المشعة السائلة يبلغ نحو $4.7\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات BWR اما مفاعلات PWR فان فعالية اليود كانت بمعدل $4.6\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ كما ان اليود - 131 المطروح مع النفايات المشعة السائلة يساوي بالمقارنة بما هو مطروح في الجو في مفاعلات BWR والبالغ $42\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ و $1.9\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لمفاعلات PWR بينما يبلغ معدل طرح بقية نظائر اليود في النفايات المشعة السائلة $3\text{GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ لليود - 133 واليود - 135 في مفاعلات BWR

هنالك اختلاف واسع لنواتج التنشيط ونواتج الانشطار الذي في النفايات المشعة السائلة وتختلف النتائج من مفاعل الى اخر وتدل الظواهر على ان واحدا او اثنين من النظائر المشعة تكون موجودة باستمرار في النفايات المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات LWR ومنها الصوديوم - 24 الذي يوجد كذلك في النفايا المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات BWR و PWR بالاضافة الى الكوبلت - 59 الذي يكون موجودا وبتركز مساو او اعلى من تركيز الكوبلت - 60 في النفايات المشعة السائلة. اما مفاعلات BWR فان السترونتيوم - 89 يكون موجودا في النفايات المشعة السائلة المطروحة.

4.2.4 المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود

يتم استخلاص عناصر اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود النووي المشع ويستعمل مرة اخرى في مفاعلات الانشطار. ان مادة الوقود المستنفذ (Spent

(fuel elements) تخزن تحت الماء الذي يكون بصفة درع واق للاشعاع ويستفاد منه كذلك للتبريد. ان مادة الوقود تترك حتى تضمحل جميع النظائر المشعة القصيرة العمر الى كميات غير مهمة (عادة اقل من 20 يوما).

النفايات المشعة الغازية

ان تصميم وتشغيل منشآت استخلاص الوقود لا ينتج عنه اطلاق كميات كبيرة من النويدات المشعة. كما ان نواتج الانشطارات الغازية المتطايرة مثل Cs و Tc و Ru و Xe و Kr و C و ^3H و I تكون مفصولة بصورة كبيرة عن محاليل الوقود في مرحلة الاذابة والنويدات المشعة الرئيسة المهمة في نفايات منشآت استخلاص الوقود هي النويدات المشعة الطويلة العمر مثل ^3H و ^{14}C و ^{89}Kr و ^{90}Sr و ^{106}Ru و ^{129}I و ^{134}Cs و ^{137}Cs والنظائر المشعة ما فوق اليورانيوم. ان كمية الفعالية المطلقة لا تعتمد فقط على نوعية المعاملة الخاصة للنفايات او طريقة المعاملة في معمل استخلاص الوقود بل تعتمد كذلك على نوعية الوقود المستخلص وعلى ما جرى عليه اثناء التشيع والتخزين كزمن التبريد مثلاً.

الرداذ المشع

يحتوي الرداذ المشع المطلق من معامل استخلاص الوقود عدداً قليل من النويدات المشعة المطلقة لجسيمات الفا ولقد وجد في بعض هذه المعامل ان نظائر البلوتونيوم تمثل الغالبية العظمى من هذه النويدات المشعة وفي معامل اخرى بلغت نسبة 71% والبقية كانت الامريسيوم - 241 والكوريوم - 242.

كما ان ما يطلق من معامل استخلاص الوقود من رداذ الفا (aerosols) المعدل يقدر بـ $0.4 \text{ GBq}[\text{GW(e)a}]^{-1}$ وبالإضافة الى ذلك فان معامل

استخلاص الوقود تطلق رذاذا يحوي نويدات مشعة مطلقة لجسيمات بيتا الذي يحوي بصورة رئيسية، السيزيوم - 137 والسنترونسيوم - 90 وقد يحوي كذلك $^{95}\text{Z/Nb}$ و ^{106}Ru و ^{125}Sb و ^{134}Cs و ^{144}Ce .

النفايات المشعة السائلة

وتشمل هذه النفايات المشعة السائلة النويدات المشعة الناتجة من معامل استخلاص الوقود وتكون حاوية على فعالية الغا. وفعالية بيتا والترتيوم والسنترونسيوم - 90 والرثينيوم - 106 وهناك عدد كبير اخر من النويدات المشعة التي تظهر مع النفايات المشعة السائلة.

وتعكس النفايات المشعة السائلة النظائر المشعة التي في الوقود فلذلك تتفاوت فعالية الفا وبيتا الى درجة كبيرة جدا من معمل لآخر حيث بلغت نسبة الرثينيوم - 106 في احد معامل استخلاص الوقود 65% من مجموع فعالية بيتا و 13% من السيزيوم - 137 و 12% من السيريوم - 144 و 7.6% من السنترونسيوم - 90 بينما كانت النسب مختلفة عن ذلك لمعمل استخلاص وقود اخر حيث كانت نحو 63% سيزيوم - 137 و سيزيوم - 134 و 11% و ثينيوم - 106 و 8.3% سنترونيوم - 90 والباقي يمثل نويدات مشعة اخرى.

5.2.4 خزن و ردم النفايات المشعة

يشكل الجزء الذي يطلق الى البيئة من المواد المشعة المتولدة من انتاج الطاقة الكهرونووية جزءا صغيرا فقط ماعدا اليورانيوم والبلوتونيوم ونويدات مشعة اخرى في الوقود المستعمل (Spent fuel) هذا وتعتبر النويدات المشعة المتولدة خلال مراحل انتاج الطاقة الكهرونووية نفايات يجب ان تخضع لمعاملة خاصة مناسبة حيث يتوجب خزنها او ردمها.

ويعني التخزين اية ترتيبات نتمكن بواسطتها من استعمال النفايات مستقبلا حيث انه لربما يصعب تداولها لفترة مؤقتة ولكن هناك نية للاستعمال حيث يتم مراقبة هذه النفايات وتسجيلها.

اما الردم فيعني أنه لا تبقى هنالك اية سيطرة على النفايات المشعة. ومن المفيد التمييز بين النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي العالي (High level waste) التي تنشأ على هيئة سوائل بعد استخلاص الوقود النووي والتي تكون حاوية على أكثر من 99% من نواتج الانشطار والاكتنيدات (actinides) التي في الوقود وبين النفايات المشعة المتوسطة النشاط الاشعاعي (Inter mediate level waste) وبين النفايات المشعة الواطئة النشاط الاشعاعي (Low level waste) التي تتولد عادة من استخلاص الوقود النووي ومن تشغيل المفاعلات. والمثال على ذلك مواد التبادل الايوني المستعملة والمرشحات الهوائية ومرشحات السوائل وبعض المكونات داخل المفاعل مثل قضبان السيطرة والاجهزة والملابس والعدد الملوثة. وهناك مجموعة اخرى من النفايات المشعة وهي المواد الملوثة بالبلوتونيوم وهي نفايات مشعة ذات نشاط اشعاعي واطيء ولكن بسبب عمر النصف الطويل للنويدات المطلقة لجسيمات الفا التي في هذا النوع من النفايات فانها تعامل على انها نفايات مشعة متوسطة.

النفايات المشعة الواطئة والمتوسطة النشاط الاشعاعي

تعتبر البقايا (Tailing) الناتجة عن طحن اليورانيوم مثالا على النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطيء. والنفايات المشعة الصلبة ربما تعامل بالتكديس (Compaction) او الحرق (Incineration) لغرض تقليص الحجم قبل ان يتم تخزينها او ردمها في الارض قرب السطح (Shallow land) او في مواقع الدفن العميقة (Deep bueral sites). ان معظم المواقع النووية تصمم لخزن النفايات المشعة الصلبة المتولدة نتيجة اشتغال المفاعل طيلة عمره وربما يعتمد الردم النهائي لهذه النفايات على القرار بالطريقة النهائية

التي سوف تتبع لردم المفاعل نفسه .
يكون طمر النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطيء
غير المعامله في حفر (Trenches) تغطي بالتربة وبصورة عامة فإن النفايات
توضع كما تسلمت مجفورة في التربة وتستعمل الاتربة المزالة لتغطية النفايات
بعد ان تملأ الحفر بالنفايات المشعة وفي بعض الاحيان يجري تقليص الحجم
الزائد للمساعدة في عملية ازالة الماء ومن المفضل ان تكون مواقع الردم في
مناطق ذات كثافة سكانية قليلة وهي غالبا ما تكون مناطق شبه قاحلة وقد يتم
الردم في البحر الا ان ذلك يتطلب التأكد من عدم انتشار التلوث بالمواد المشعة
من خلال وضع المعايير وتحديد اساليب العمل والمراقبة .

النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي

يوجد معظم الوقود النووي المشع الذي ازيل من المفاعلات مخزونا في
الوقت الحاضر بانتظار قرارات الدول المعنية الخاصة بردمه بصورة مباشرة او
استخلاصه وذلك لاستعمال النويدات القابلة للانشطار مرة اخرى وعند
استخلاص الوقود فان النفايات العالية النشاط الاشعاعي تخزن حاليا على
شكل سوائل . والغرض من ذلك هو جعلها صلبة مما يزيد من قابلية تداولها
وخزنها او ردمها .

لقد قامت بعض الدول باتخاذ القرار المناسب لها حول طريقة معاملة
هذا النوع من النفايات ففي فرنسا مثلا اتخذ قرار لتحويلها الى مادة صلبة
حيث انشئ معمل لتزجيجهها (Vitrification) في Marcoule عام 1978
حيث تحول النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي الى صفائح زجاجية
تخزن في منشآت مبردة . وتقوم دول اخرى باجراء التجارب والبحوث لغرض
تصليب النفايات العالية النشاط الاشعاعي ولغرض حجب هذه النفايات في
حاويات ولغرض ايجاد افضل مواقع للردم .

كما ان طرائق الردم قد درست بصورة واسعة وهي تشمل الردم في التكوينات الجيولوجية العميقة او الردم تحت قعر المحيط وتجري دراسات علمية حديثة حول الابحاث اللازمة لغرض تقدير الردم في المحيط وهنالك دول متعددة تدرس الردم الجيولوجي اما في الاملاح او الصخور الصلبة مثل الكرانيت والبازالت وبالإضافة الى ذلك فانه توجد امكانية استعمال الصخور الرسوبية بصفة محلات الردم (Repository)

والحواجز الاساسية التي تعوق عودة المواد المشعة الى البيئة هي هيئة النفايات المشعة وحواجزها والحجب الجيولوجي للنفايات بين التكوينات الصخرية عند الانتقال خلال الوسط الجيولوجي وانتشارها وتخفيفها في الوسط الحي (Biosphere) .

ان طرح النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي من المحطات النووية لم يتم لحد الان حيث انه يوجد خزين مراقب فقط من قبل السلطات الوطنية للدول المختلفة بانتظار قراراتها حول طرائق المعاملة .

ان الردم في مناجم الاملاح قد يوفر طريقة جيدة ولكن النفايات تكون معرضة للمياه الجوفية الناتجة عن حالة الحوادث (Disruptive event) التي يفترض ان فرص حدوثها تبلغ واحد لكل مئة الف او مليون سنة . والتحليل المفصل لهذه الفرضيات يوضح ان متوسط زمن الوصول للنويدات المشعة ذات الاهمية من ناحية الوقاية من الاشعاع مثل التكنيشيوم - 99 واليود - 129 والسيزيوم - 135 والاكتنيدات للمياه العذبة يبلغ عدة ملايين من السنين . اما الردم في مقالع الصخور الصلبة فان الحواجز تكون على تماس مع الماء الذي تكون له سرعة جريان بطيئة . كما ان انتقال النويدات التي تذوب خلال المواد العازلة المحيطة بالحواجز سوف يحكم النفاذية التي تكون بطيئة للغاية ويتوقع حجب نويدات مشعة اكثر بواسطة التفاعلات الكيميائية مع المادة العازلة مع الصخور الموجودة .

6.2.4 مصادر اخرى للاشعاع ذات علاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية

ان المصادر الاخرى للاشعاع ذات العلاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية هي نقل الوقود النووي المشع وتشغيل منشآت البحوث النووية.

النقل

ينقل الوقود النووي غير المشع الى مواقع المحطات الكهرونووية من منشآت تصنيع الوقود وينقل الوقود المشع من مواقع المفاعلات الى منشآت استخلاص الوقود او منشآت الخزن كما ان نقل المواد المشعة يخضع الى التشريعات الوطنية المستندة الى تعليمات الوكالة الدولية للطاقة الذرية . والشحنات قد تصل بواسطة السكك الحديدية والطرق البرية والطرق البحرية والجوية . ان عدد الشحنات والمسافة المقطوعة تختلف الى درجة كبيرة من بلد لآخر.

منشآت البحوث النووية

ان جزءاً من النشاط الاشعاعي المطروح الى البيئة من منشآت البحوث النووية ربما يعزى الى المساعدة في استمرارية التشغيل او الى التطويرات المستقبلية للطاقة النووية ومع هذا فانه توجد فعاليات اخرى في المنشآت النووية مثل انتاج النظائر المشعة ومعاملتها وانواع البحوث الاخرى التي تكون مسؤولة عادة عن جزء كبير من النظائر المشعة المطروحة في الجو.

3.4 مصادر الاشعاع الطبيعية المصنعة

تنشأ هذه المصادر الاشعاعية نتيجة التصنيع الذي يحدث ومن امثلة ذلك استعمال الغاز الطبيعي للطبخ والتدفئة واستعمال الفحم لانتاج الطاقة . من الممكن اعتبار الابنية مصادر اشعاع طبيعية مصنعة وذلك للمواد المشعة التي في المواد التي استعملت في انشائها.

1.3.4 توليد الطاقة من الفحم الحجري

يحتوي الفحم الحجري كميات ضئيلة من المواد المشعة الطبيعية التي في قشرة الارض ولهذا فان احراق الفحم يؤدي الى تحرك بعض المواد المشعة الطبيعية في البيئة وفي اعادة توزيع المواد المشعة الطبيعية من باطن الارض الى مناطق مما يؤدي الى تغيير حقول الاشعاع الطبيعي (Ambient radiation fields) .

ومن هذه النظائر المشعة البوتاسيوم - 40 واليورانيوم - 238 والراديوم - 226 والرصاص - 210 والثوريوم - 232 والراديوم - 228 وهي تكون مصاحبة للرماد للطائر (Fly ash) .

2.3.4 انتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية

تنتج هذه الطاقة في عدد من بلدان العالم ومنها ايسلندا وايطاليا واليابان ونيوزيلندا والولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي. وهي تشمل المياه الحارة الملامسة للصخور داخل الارض. ان هذه المياه تكون حاوية بعض النويدات المشعة الطبيعية مثل الرادون - 222 .

3.3.4 استغلال الصخور الفوسفاتية

تستخدم الصخور الفوسفاتية بصورة رئيسة كمصدر للفسفور في الاسمدة الفوسفاتية .

كما ان خامات صخور الفوسفات الرسوبية تحوي تراكيز عالية من اليورانيوم بينما تكون الخامات البركانية حاوية تراكيز قليلة من اليورانيوم .

ان تعدين ومعاملة الخامات الفوسفاتية سوف يؤدي الى اعادة توزيع اليورانيوم - 238 ونواتج انحلاله على عدة منتجات تكون مصادر اشعاعية .

ونواتج ثانوية ونفايات للصناعات الفوسفاتية. تكون النفايات المشعة السائلة مصدراً مهماً للاشعاع كما ان الاسمدة الفوسفاتية تعتبر كذلك مصدراً للاشعاع عند استعمالها كاسمدة في الزراعة. وبالإضافة الى ذلك فان النواتج العرضية قد تستعمل في صناعات الابنية وتكون مصدرا اشعاعيا فيها.

مصادر الاشعاع في النفايات المشعة الناتجة من معامل معاملة الصخور الفوسفاتية

يأتي الجزء الرئيس من المواد المشعة المتحررة في الهواء على شكل مسحوق ناعم للصخور ينتج من عمليتي التجفيف والطحن ولقد قدر ان ما يقارب من 100 بكريل من اليورانيوم - 238 يتم اطلاقه مقابل كل طن من الفوسفات المعاملة.

تستعمل المناطق المستنفذة بعد التعدين (Mined out areas) بركا لردم النفايات الناتجة من عملية التعدين.

المصادر الاشعاعية الناتجة عن استخدام الاسمدة الفوسفاتية

ان اضافة السماد الى التربة يعتمد على نوع التربة ونوع الحاصل المزروع فيها كما ان تركيز النويدات المشعة الطبيعية التي في الاسمدة الفوسفاتية يختلف من دولة الى دولة اخرى حيث ان معظم الاسمدة مشتقة من خامات الفوسفات ويعزى الاختلاف الناتج الى اختلاف مناطق المواد الاولية حيث يتوقع وجود تراكيز عالية من اليورانيوم - 238 عندما تكون خامات الفوسفات رسوبية بينما تكون هنالك تراكيز قليلة منه في الصخور البركانية. تكون الاسمدة الفوسفاتية مصدرا للاشعاع لعدد محدد من العاملين في انتاجها ونقلها وتخزينها واستعمال الصخور والاسمدة الفوسفاتية.

ان اضافة الاسمدة الفوسفاتية الى التربة يضيف فعالية لها وقد تبلغ هذه الفعالية 17 بكريل من اليورانيوم - 238 للمتر المربع و 11 بكريل للمتر المربع من الراديوم - 226 و 704 بكريل للمتر المربع من الثوريوم - 232 و 150 بكريل للمتر المربع من البوتاسيوم - 40 .

ومن المتوقع ان يزيد تركيز سلسلة اليورانيوم - 238 في محاصيل الاغذية نتيجة تسميد التربة بالاسمدة الفوسفاتية ومن المتوقع ايضا ان تتلوث الاغذية كثيرا نتيجة اضافة الاسمدة بصورة سائلة الى سطح التربة او من المنتجات الفوسفاتية التي تستعمل لتغذية الحيوانات .

ان بعض المنتجات الفوسفاتية تستخدم مصدراً للفسفور في اعلاف الحيوانات مما يسبب زيادة تركيز الفعالية لبعض النويدات المشعة مثل الراديوم - 226 في المنتجات الحيوانية مثل الحليب الذي دلت بعض الدراسات على وصول تركيزه الى نحو 25 بكريل في المتر المكعب بينما يقدر التركيز في الحليب الطبيعي بين 3-10 بكريل للمتر المكعب .

مصادر الاشعاع الناتجة عن استخدام النواتج العرضية والنفائات

يكون الناتج العرضي الرئيس لمعاملة خامات الفوسفات في معامل انتاج حامض الفسفوريك هو الجبس (Gypsum) او فوسفات الجبس (Phosphgypsum) وسلكات الكالسيوم الطينية (Calicium silicate slag) ان هذه النواتج الثانوية تصبح مصادر اشعاعية اذا استعملت في مواد البناء بالاضافة الى السكن في الاراضي التي انجز تعدين الفوسفات فيها وسمح للسكن بها .

كما ان معظم الراديوم - 226 الذي في خامات الفوسفات يذهب الى الجبس الفوسفاتي حيث يبلغ تركيز فعالية الراديوم - 226 فيه 900 بكريل لكل كيلو غرام . والجبس الفوسفاتي يمكن ان يعوض عن الجبس الطبيعي في

صناعات البناء لعمل البلوكات والالواح (Plaster board) والخواجز وكذلك الاسمنت وكتل البناء مما يشكل مصدرا اشعاعيا لسكنة الابنية التي استعملت هذه المواد في انشائها.

تحتوي سلكات الكالسيوم عادة على تراكيز للنويدات المشعة الطبيعية مثل اليورانيوم - 238 وقد تستعمل في صناعة قضبان السكك الحديدية والاسفلت والكونكريت وبعض الاستعمالات الاخرى كتبليط الطرق والممرات مما يجعلها مصادر اشعاعية لتعرض العاملين ومن لهم تماس مع هذه المواد.

4.4 مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكية

من الممكن تقسيم المنتجات الاستهلاكية التي تحتوي على مواد مشعة الى خمسة اقسام بصورة عامة وهي :

1.4.4 الاجهزة ذات الارقام المضيئة (Radioluminous products)

يستعمل الراديوم - 226 والبروميشيوم - 147 والتريتيوم بصورة كبيرة في صناعة اصباغ الارقام لغرض اضاءة اجهزة قياس الزمن حيث يحول الاشعاع المنبعث الى ضوء. كما ان اكثر الساعات اليدوية تكون حاوية التريتيوم بينما يستعمل البروميشيوم - 147 والراديوم - 226 اكثر من التريتيوم في الساعات المنضدية.

ان فعاليات التريتيوم والبرميشيوم - 147 التي تنتج نفس الضوء المتوهج التي تنتجها 37KBq من الرادون - 226 تقدر بـ 200TBq من التريتيوم و 6TBq من البروميشيوم - 147 للساعات المصنوعة حديثا. ونتيجة لظاهرة الانحلال الاشعاعي فان التوهج يقل نتيجة تلف المادة المتلألئة (Phosphore) خلال العمر الذي تستعمل فيه الساعة كما ان انتاج الساعات الحاوية على

الراديوم - 226 قد توقف في بلدان متعددة.
ان معظم الساعات المضيئة ليلا المستعملة حاليا مطلية بالتريتيوم ان
معدل التريتيوم في هذه الساعات يبلغ 37MBq للساعات اليدوية و 60MBq
للساعات المنضدية.
وتستعمل المواد الوهاجة كذلك في العلامات وارقام التلفزيونات.

2.4.4 الاجهزة الكهربائية والالكترونية

تحتوي بعض مانعات الكهربائية المستقرة عناصر مشعة وتستعمل هذه
المواد بصورة واسعة في الصناعة لتخفيف الشحنة الكهربائية المتجمعة على
بعض المواد حيث يقوم الأشعاع بتأيين الهواء الملامس للأجسام المشحونة وبهذا
يسمح للشحنة بأن تعادل.
ان موانع الكهربائية المستقرة التي يستخدم فيها البولونيوم - 210 قد
تصنع وتسوق لعامة الناس حيث تستعمل لازالة الغبار من المواد المختلفة
ويحوي كل واحد من هذه الممانعات نحو 20MBq للبولونيوم - 210 .
هنالك مواد استهلاكية لا تحتوي على مواد مشعة ولكنها تبعث الاشعة
السينية وذلك بسبب تعجيل الالكترونات ومثال شائع على ذلك هو اجهزة
التلفزيون وكواشف الامتعة وغيرها.

3.4.4 كواشف الدخان (Smoke detectors)

ان النظير المشع المفضل لهذه الكواشف هو الامريسيوم - 241 وهنالك
كواشف حريق تحوي مصادر مشعة مختلفة اخرى مثل
الراديوم - 226 والبلوتونيوم - 238 والكربتون - 87 والنيكل - 63 كما
ان هذه الكواشف تستعمل بكثرة في الابنية الاقتصادية والتجارية والمحلات
العامة وفي بعض البيوت كذلك.

ويبلغ النشاط الاشعاعي الذي في كاشفة الحريق الحاوية على
الامريسيوم - 241 1.5TBq .

4.4.4 السيراميك والادوات الزجاجية

يكون استعمال اليورانيوم في المنتجات الاستهلاكية اما للون او لكثافته
العالية. كما ان الثوريوم يستعمل في بعض انواع الاوعية (Incandescent
mantles) وفي بعض العدسات الضوئية.

تحتوي بعض العدسات الضوئية على نحو 30% بالوزن من اليورانيوم
والثوريوم وبالإضافة الى ذلك فان بعض زجاج العدسات (Ophthalmic
glass) يحوي على تراكيز عالية من اليورانيوم والثوريوم نتيجة طبيعية لصنع
الزجاج ولقد وضعت حدود طوعية في الولايات المتحدة الامريكية لهذا النوع
من الزجاج وهي 0.5 بكريل لكل غرام للنشاط الاشعاعي المنبعث من
زجاج العدسات حداً اقصى للنظائر المشعة اكتينيوم - 228 والرصاص - 212
والرصاص - 214

كما ان اليورانيوم يستعمل كذلك في الخزف المستعمل في صناعة وعلاج
الاسنان. ان مركبات اليورانيوم والسيروم تستعمل في معظم المواد الخزفية
وذلك لاعطاء نفس اللمعان للاسنان الطبيعية. وتحدد كثير من الدول كمية
اليورانيوم التي يسمح باستعمالها في مسحوق الخزف والاسنان الاصطناعية
بنسب تتراوح بين 0.05 - 0.1% .

الفصل الخامس

حسابات الجرعة الإشعاعية

Radiation Dose Calculations

الفصل الخامس حسابات الجرعة الاشعاعية

Radiation Dose Calculations

تشمل الجرعة الاشعاعية المتسلمة من قبل العاملين في حقول الاشعاع وعامة السكان الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي للاشعاع والجرعة الاشعاعية الناتجة عن دخول المواد المشعة الى الجسم مما يسبب تعرضاً داخلياً ومن الناحية الاخرى فان التعرض الى الاشعاع قد يتعلق بالافراد او يتعلق بالمصادر.

1.5 التقديرات المتعلقة بالافراد

تجري التقديرات الاولى للتعرض الى الاشعاع فيما يخص الافراد باستعمال الجرعة الممتصة وجرعة اشعاعية اخرى.

1.1.5. التشعيع الخارجي

يتطلب تقدير الجرعة الممتصة في انسجة الجسم من التشعيع الخارجي معرفة الطاقة وزاوية التوزيع (Angular distribution) ومعدل دفع الطاقة (Fluence rate) لكل من مكونات الجسيمات المشحونة في المجال الاشعاعي. كما ان هذا التوزيع التفاضلي يحصل عليه عادة بواسطة القياسات الطيفية (Spectrometric measurements) . ولكن بصورة عامة تتوفر قيم محسوبة لتوزيع مصادر معروفة. ان معظم القياسات تصف المجال بغياب الشخص المعرض وهذا ما يعرف بظروف خلو المتسلم (Receptor free Conditions) .

تستعمل سرعة اعطاء الجرعة في الهواء D_a لوصف حالات التعرض البيئي الناتجة عن النويدات المشعة المطلقة لاشعة كاما وهي توصف بصورة عشوائية اذا كانت هنالك حالة توازن الكتروني ثانوية كاملة في الهواء. ان تقدير الجرعة الممتصة يمكن ان يحصل عليه من هذه القيم البيئية لانسجة واعضاء الجسم تحت الدراسة. ان هذا يشمل عددا من الفرضيات حول

العوامل التي تؤثر في حسابات الجرعة العميقة وعن زمن تعرض الانسان الى مختلف المجالات الاشعاعية.

يستند تقدير الجرعة الاشعاعية للشخص المتسلم لها في المنطقة ذات الاهتمام ولانسجته الى معرفة الجرعة الممتصة في الهواء ويشمل ما يلي :

1 - كتلة الطاقة الممتصة (Mass energy absorption)

2 - عمق الانتقال (Depth transmission)

3 - التشتت المرتد (Back scatter)

4 - درجة التناظر (Degree of isotropy)

ان عامل كتلة الطاقة الممتصة هو النسبة بين معاملات كتلة الطاقة الممتصة للنسيج والهواء وتستعمل نسبة 1:1 بوصفها قيمة. اما العوامل الاخرى فانه لها علاقة لبعضها البعض حيث ان التشتت المرتد ربما يؤدي الى زيادة معدل الجرعة على السطح ولكن الجسم سوف يعمل بصفة درع وبذلك يقلل معدل الجرعة.

يعتمد التأثير النهائي على موقع النسيج الذي يجري تقدير الجرعة الاشعاعية المتسلمة من قبله وعلى الطاقة والتوزيع الزاوي للاشعاع وفيما عدا الحالة النادرة التي يكون فيها المجال الاشعاعي باتجاه واحد وان الشخص المعرض لا يتحرك فان العمق الظاهري لنسيج او عضو يمكن حسابه من المتوسط المنوزون للامتصاص خلال الجسم الذي يحدث عندما تدخل الاشعة من اتجاهات متعددة.

كما ان الاختلاف بين المجال ذي الاتجاه الواحد والمجال المتعدد الاتجاهات (Isotropic field) يعبر عنه بالفرق بين سرعة الجرعة الممتصة على اي عمق للمجالات التي تنتج نفس معدل الجرعة الممتصة في الهواء تحت ظروف عدم وجود المتسلم.

ان نسبة الاختلاف بمعدل الجرعة الممتصة لا يمكن ان يتجاوز ضعفا للنقاط القريبة عن سطح الجسم ويقترب من واحد قرب مركز الجسم. ان احسن قيمة يمكن استعمالها حاليا هي 0.7.

كما ان الكمية الاخرى التي نستطيع بواسطتها وصف ظروف غياب المتسلم هي دليل الجرعة الممتصة (Absorbed dose index) ومختصرة DI وهو ما يعرف بالجرعة العميقة القصوى التي يمكن ان تحدث لكرة مكافئ نسيج نصف قطرها 30 ستمترا موضوعة بحيث يكون مركزها هو النقطة التي تحظى باهتمامنا.

وهذه الكمية تستعمل مثالا لوصف التشعيع الناتج عن الاشعة الكونية. انها تفرض ان دليل الجرعة الممتصة يمثل بصورة جيدة الجرعة الممتصة في النسيج في المنطقة المثيرة لاهتمامنا.

ان احد العوامل التي تعقد حسابات الجرعة هو ان الجرعة لا تكون بصورة عامة موزعة بصورة منتظمة على الجسم واذا كان المصدر الاشعاعي على مسافة من المنطقة التي يتطلب ايجاد تعرضها فانه سوف يكون لها تأثير مختلف على اجزاء المنطقة استنادا الى مسافتها من المصدر وعلى توهين الاشعاع بواسطة المادة التي تقع بين المصدر ونقطة الجرعة.

كما ان متوسط الجرعة لا يجرى حسابه عادة لمساحة تقل عن ستمتر مربع واحد او لحجم يقل عن ستمتر مكعب واحد ولربما دعت الضرورة ايجاد متوسط الجرعة على مساحات اصغر مثل الجرعة المسببة للحامض النووي DNA المعلوم بالترينيوم الذي يتركز في كروموسومات الخلايا والجرعة الاشعاعية تحسب في هذه الحالة بواسطة ايجاد متوسط الطاقة الداخلة على حجم النواة بدلا عن الخلية باجمعها.

ان حساب الجرعة الممتصة يعود الى معرفة معدل الجرعة الذي بدوره يتطلب معرفة مصدر الطاقة وكثافة الفيض ومعدل امتصاص الاشعاع لوحدة طول المسار حول النقطة التي تهمننا.

ان كثافة الفيض تعتمد على مصدر الاشعاع.

2.1.5 الاشكال الهندسية لمصادر الاشعاع

من الممكن وصف مصادر الاشعاع بالنسبة إلى اشكالها والتي تقسم عادة إلى أربعة اشكال هندسية وكما يلي :

- 1 - المصدر النقطي (Point Source) (s) (فوتون / ثانية).
- 2 - المصدر الخطي (Line Source) SL (فوتون / سم / ثانية)
- 4 - المصدر المساحي (Area Source) SA (فوتون / سم² - ثانية)
- 4 - المصدر الحجمي (Volume Source) SV (فوتون / سم³ - ثانية)

حساب كثافة الفيض

ولغرض حساب كثافة الفيض يجب ان تضرب قوة المصدر بطاقة الفوتونات واشكال انحلالها. هنالك عوامل تتداخل في حساب كثافة الفيض هي التوهين (Attenuation) والتراكم (Buildup) والامتصاص الذاتي (Self absorption) بالإضافة إلى ان المصادر قد تكون منتظمة او غير منتظمة وبصورة عامة فان الفعالية في المصادر المشعة تعتبر منتظمة ما لم يأت تحديد مخالف. ان بعض الحالات التي يكون فيها توزيع المصادر غير منتظم هو قلب المفاعل النووي.

كما ان التوهين يصبح عاملاً مهماً عندما يتم وضع الاجسام الممتصة بين المصدر والنقطة التي تهمنها والتوهين يكون بصورة عامة معتمداً على الطاقة كما ان التراكم يصبح مهماً كذلك عندما تكون الاجسام الممتصة واقعة بين المصدر والنقطة التي تهمنها ويعتمد التراكم بصورة عامة على الطاقة وانه يجب ان يعامل بهذه الكيفية لاية مصادر لا تكون احادية الطاقة.

كما ان الامتصاص الذاتي يمكن ان يكون مهماً للمصادر الحجمية وخاصة عندما تكون إبعاد المصدر لها نفس المقدار الكمي لمتوسط مسار الفوتون الحر في المادة وهو يعتمد كذلك على الطاقة.

1 - المصدر النقطي المتساوي الاتجاهات (Point isotropic source)

بالرغم من ان لمصادر الاشعاع ابعادا محددة، فإنها تكون صغيرة بما فيه الكفاية مقارنة بالمسافة من نقطة القياس الى المصدر بحيث ان المصدر يعامل بصفة نقطة والفرضية ان المصدر هو نقطي متساوي الاتجاهات تشير الى ان توزيع المصدر يكون منتظما وان امتصاص الفوتونات في المصدر يمكن اهماله. ان كثافة فيض الفوتون في نقطة أ يتمثل بعدد الفوتونات التي تعبر المسافة Ar في وحدة الزمن

$$\phi = S/Ar \dots\dots\dots(5-1)$$

حيث ان S تمثل المصدر وان ϕ هي كثافة الفيض

فما يخص الاحداثيات الكروية = $4\pi r^2$

وبهذا فان

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} \dots\dots\dots(5.2)$$

واذا ما وضع ممتص بين S و P فانه يجب اخذ توهين الفوتون بنظر

الاعتبار وبهذا تصبح المعادلة

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu t} \dots\dots\dots(5.3)$$

حيث ان μ هي معامل التوهين الكتلي و K هو كثافة الممتص

بوحداث غرام/سم²

من الممكن اخذ التراكم بنظر الاعتبار بواسطة ضرب المعادلة الاخيرة

بمعامل التراكم المناسب B بحيث تصبح المعادلة

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} B e^{-\mu t} \dots\dots\dots(5.4)$$

ان القيمة القديمة هي 5.5 ... Particle or photon/ cm².s T(d) $\phi = (N/\pi d^2)$

2- المصدر الخطي (Line source)

ان كثافة الفيض في نقطة أ من مصدر خطي طوله L يعتمد على الموقع أ بالنسبة للخط .

يؤخذ بنظر الاعتبار ثلاث نقاط الاولى P_1 (الشكل 1.5-أ) حيث تكون كثافة الفيض

$$\phi_1 = \frac{SL}{4\pi Th} (1 - \cos \theta_1) \dots (5.6)$$

اما النقطة P_2 (الشكل 1.5-ب) فان كثافة الفيض لهذه النقطة تكون

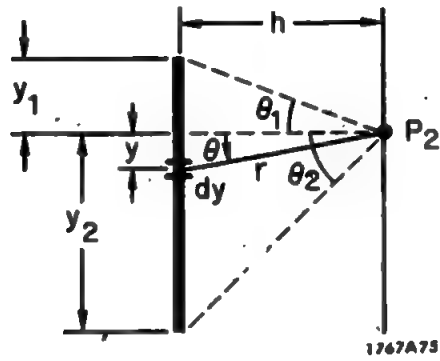
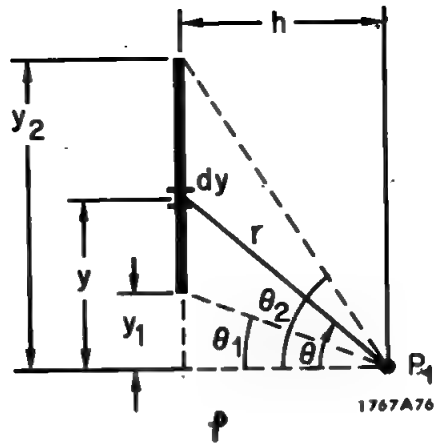
$$\phi_2 = \frac{SL}{4\pi Th} (1 - \cos \theta_1 + \cos \theta_2) \dots (5.7)$$

والنقطة الثالثة P_3 (الشكل 1.5-ج) تكون كثافة الفيض لها

$$\phi_3 = \frac{SL}{4\pi Th} (n - 1) \dots (5.8)$$

لقد استعملت القيمة $\phi = (N/2\pi d) \tan^{-1} \frac{L}{d} \dots (5.9)$

سابقا حيث تمثل N عدد الجسيمات او الفوتونات المنبعثة في الثانية لوحدة الطول بالسنتيمتر من المصدر و d = المسافة بالسنتيمتر على عمود من منتصف المصدر و L = نصف طول المصدر بالسنتيمتر .



الشكل 1.5 كثافة الفيض لنقاط حسب موقعها من مصدر خطي

من الممكن التقريب واعتبار المصدر الخطي مصدراً نقطياً وفي أبسط الحالات الهندسية تكون

$$\theta_2 = \frac{SL}{4TTh} (|\theta_1| + |\theta_2|) \dots (5.7)$$

وفيما يخص الزوايا الصغيرة فإن من الممكن التقريب واعتبار

$$\tan |\theta| = |\theta|$$

وفي حالات التي يكون فيها $|\theta_1| = |\theta_2|$

$$\tan (\theta_1) = \tan (\theta_2) = L/2h \text{ و}$$

$$(\theta_1) + (\theta_2) = L/h$$

وبهذا فإن

في تقريب الزوايا الصغيرة وهذا فإن

$$\theta_2 = \frac{S_L L}{4TTh^2} \dots (5.10)$$

التي هي معادلة لمصدر نقطى يكون فيها

$$S \approx S_L L$$

كما ان التقريب للزوايا الصغيرة صالحاً لغاية نحو 10% (30°)

وبما ان $30^\circ = 0.58$ ظل

فان من الممكن معاملة المصدر الخطى مصدراً نقطياً للقيم $L/h < 1.2$

او عندما تكون المسافة الفاصلة h اكبر من طول الخط L .

3- مصدر مساحي (Area source)

ان المصدر المساحي المعنى هنا هو مصدر متوزع بصورة منتظمة على

سطح كما هو موضح في الشكل 2.5 كما ان كثافة الفيض التفاضلية للنقطة أ

معطاة بالمعادلة

$$d\phi = \frac{SA dA}{4TTP^2} \dots (5.11)$$

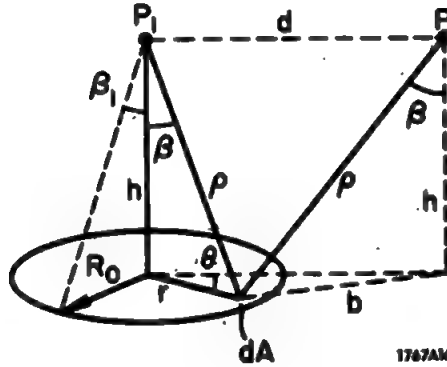
$$\phi = \frac{SA}{4} (\ln) \frac{Ro^2 + h^2 - d^2 + \sqrt{(Ro^2 + h^2 - d^2)^2 + 4d^2h^2}}{2h^2} \dots (5.12)$$

اما في حالة P1 التي تقع على محور القرص

$$d=0$$

$$\phi_1 = \frac{SA}{4} \ln \frac{(Ro^2 + h^2)}{h^2} \dots (5.13)$$

حيث ان N هو عدد الجسيمات او الفوتونات المنبعثة في الثانية لوحدة مساحة المصدر و R هو نصف قطر المصدر بالمستمر و d هي المسافة للنقطة من المصدر على طول المحور المركزي العمودي على مستوى المصدر.



الشكل 2.5 كثافة الفيض لنقاط تقع على ابعاد مختلفة لمصدر مساحي

لقد استعمل سابقا

$$\phi = \frac{N}{4} \log \left[\frac{R^2}{d^2} + 1 \right] \text{ Particle or photon/ Cm}^2 - \text{sec} \dots (5.14)$$

ان من الممكن اعتبار القرص مصدرا نقطيا لبعض النقاط البعيدة عن القرص .

$$S = SA \cdot TT \cdot Ro^2 \dots\dots\dots (5.15)$$

وبهذا تصبح معادلة المصدر النقطي

$$\phi = \frac{SA \cdot TT \cdot Ro^2}{4 \cdot TT \cdot h^2} - \frac{SA}{4} \cdot \frac{Ro^2}{h^2} \dots\dots\dots (5.16)$$

واذا تم اختيار النقطة P1 التي تبعد بالمساحة h فان التقريب يكون

$$\frac{SA}{4} \cdot \frac{Ro^2}{h^2} \approx \frac{SA}{4} \cdot \ln \left(\frac{Ro^2 + h^2}{h^2} \right) \dots\dots\dots (5.17)$$

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها P1 على محور القرص

$$d = 0$$

$$\frac{Ro^2}{h^2} \approx \ln \left(\frac{Ro^2 + h^2}{h^2} \right) \dots\dots\dots (5.18)$$

وبهذا يكون

$$-\frac{Ro^2}{h^2} \approx 1 - e^{-Ro^2/h^2} \dots\dots\dots (5.19)$$

ان هذا التقريب يكون صالحا ضمن 10% عندما تكون

$$Ro^2/h^2 < 0.20 \dots\dots\dots (5.20)$$

$$Ro/h < 0.45 \dots\dots\dots (5.21)$$

او

وبهذا فان المصدر القرصي يمكن ان يعامل بصفة مصدر نقطي عندما تكون

$$h > 2.2 Ro \dots\dots\dots (5.22)$$

او عندما تكون المسافة الفاصلة h هي اكبر من المصدر 2Ro

هنالك مصادر حجمية معقدة قد يكون على شكل شريحة (Slab source) او على شكل اسطوانة او على شكل كرة.

وفيما يخص المصادر الشريحية فانها تكون مشابهة للمصادر المساحية. عدا ان لها سمكاً وبهذا يمكن التعامل معها بعد ان يأخذ الامتصاص الذاتي بنظر الاعتبار في البداية. ان كثافة الفيض لشريحة ذات سمك غير محدود في حالة عدم وجود امتصاص بين المصدر والنقطة التي تهتمنا معطى بالمعادلة

$$\phi = \frac{S_V}{2\mu_s} [1 - E_2(\mu_s h)] \dots (5.23)$$

حيث تكون μ_s معامل التوهين الخطي للمادة المصدر و h هو سمك المصدر و E_2 هو تكامل اسي (Exponential integral) يأخذ من الجداول كما ان كثافة الفيض للفوتون الابتدائية على سطح مصدر شريحة غير محدودة السمك ذي مقدار محدد هو

$$\phi \cong \frac{S_V}{2\mu_s} \dots (5.24)$$

اي عندما تكون

$$\mu t = 0$$

و

$$\mu_s h \rightarrow \infty$$

اما الاسطوانة فان من الممكن تقريب المصدر الى قوة مصدر خطي

$$SI = \pi R_o^2 S_v \dots (5.25)$$

حيث يمثل R_o نصف قطر الاسطوانة الذي يقع ضمن الاسطوانة لغرض اخذ الامتصاص الذاتي بنظر الاعتبار بصورة دقيقة.

او نفس المبدأ يمكن ان يطبق على الكرة وذلك عن طريق التعويض بواسطة قرص له نفس نصف قطر الكرة والذي يكون له قوة لوحدة المساحة

$$SA = 4R_o S_v/3 \dots (5.26)$$

يوضع في مكان مناسب وان ذلك ينطبق فقط على الدرع العمودي على الخط الواصل بين مركز الكرة والنقطة أ وفي هذه الحالة يكون الحل تقريبياً .
لقد تطرقنا الى حساب كثافة الفيض لمصادر مختلفة الاشكال وبعد حساب كثافة الفيض هذه فان مسألة حساب الجر الممتصة تكون بسيطة حيث يجري حساب كثافة الفيض في نقطة ما ويتم بعد ذلك ضربها بطاقة الفوتونات للحصول على كثافة فيض الطاقة وضربها بعد ذلك بمعامل امتصاص الطاقة الكتلي لحساب الطاقة التي جرى ادخالها الى النقطة المرادة واخيراً وباستعمال الثوابت الملائمة لغرض تحويل الوحدات الى راد او غراي وضربها بالزمن الذي بقيت فيه كثافة الفيض للفوتون لاعطاء الجر الممتصة وحساباً

$$D(\text{Gy}) = 1.6 \times 10^{-6} \phi (\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}) E (\text{MeV}) \mu_{\text{en}} / \rho (\text{cm}^2 \text{g}^{-2}) t (\text{sec}) \dots (5.27)$$

وان الكمية μ_{en} / ρ التي تدعى معامل امتصاص طاقة الكتلة (Mass energy absorption coefficient)

يمكن ان يحصل عليه من جداول خاصة ولهذا يقرب الى درجة مقبولة .
كما ان الصعوبة تكمن في الاشكال الهندسية للمصادر وكذلك اضافة الموهنات التي تسبب الحاجة الى التصحيح للتشتت وبلاضافة الى ذلك فانه لا بد من اخذ الطيف الطاقي للفوتونات (Energy spectrum) بنظر الاعتبار حيث ان المصادر لا تكون بصورة عامة احادية الطاقة .

واخيراً فانه مما يجدر معرفته ان كثافة الفيض ومن ثم معدل الجر ربما لا يكون ثابتاً مع الزمن واذا كان المصدر نويدة مشعة فان تغير كثافة الفيض المعتمد على الزمن يحسب بواسطة عمر النصف للنويدة ولكن من النادر ان تكون المصادر الاشعاعية بسيطة واذا ما كان المصدر مكوناً من عدة نويدات مشعة مثل نواتج الانشطار او مفاعل في حالة الاشتغال او معجل فان معالجة مسألة تغير الفيض مع الزمن تكون مسألة معقدة .

وهناك بعض المعادلات المفيدة لحساب معدل الجر من المصادر النقطية

ومنها :

1- مطلقات اشعة كاما

من الممكن حساب معدل الجرعة التقريبي من مصدر كاما باستعمال المعادلة

$$D = \frac{ME}{4\pi r^2} \dots\dots (5.28)$$

حيث ان D هي معدل الجرعة $\mu Sv/h$

و M هي فعالية المصدر MBq

و E هي طاقة كاما لكل انحلال

و r هي المسافة عن المصدر بالامتر.

كما ان معدل الجرعة على مسافة متر واحد يمكن ان تحسب باستعمال المعادلة

$$D = 0.54 E C_i \text{ rad / h} \dots\dots (5.29)$$

لطاقات كاما التي تتراوح بين 0.3 الى 3 MeV حيث ان C_i هي قوة المصدر بالكيوري

2- مطلقات دقائق بيتا

ان معدل الجرعة لمطلقات دقائق بيتا على مسافة 10 . ستمترا هي

$$D = 2700 C_i \text{ rad / h}$$

حيث يتغير معدل الجرعة ببطء مع تغير طاقة بيتا .

3- اشعة كاما ودقائق بيتا

ان معدل الجرعة على سطح المصدر الذي يكون على شكل لوحة كبيرة

هو:

$$D = 1.07 . S E \text{ rad/h} \dots\dots (5.30)$$

حيث ان S هي الفعالية النوعية للمصدر بوحدات $\frac{UCi}{g}$ و E هو معدل الطاقة بـ MeV لكل انحلال

3.1.5 العلاقات التي تشمل الانحلال الاشعاعي والطرح البايولوجي

ان فقدان الذرات للنويدات المشعة من منطقة ربما يعود ليس فقط الى الانحلال الفيزيائي ولكن كذلك الى الطرح البايولوجي للنوييدة من المنطقة . ان السرعة الكلية لفقدان الذرات هي مجموع سرع الفقد من الانحلال الفيزيائي ومن الطرح البايولوجي .

ومن الممكن استعمال ثابت الانحلال البايولوجي (Biological decay constant) ويرمز له λ_b للتعبير عن الطرح البايولوجي .

ان مجموع معدلات الفقدان التجزيئي (Total fractional rate of loss)

يدعى ثابت الانحلال المؤثر (Effective decay constant)

ويرمز له λ_e ان ثابت الانحلال المؤثر يساوي معدل الانحلال

الفيزيائي الجزئي (Physical fractional rate of decay) ويمكن تمثيله بالمعادلة

$$\lambda_e = \lambda_p + \lambda_b$$

ونتيجة للطرح البايولوجي فان متوسط العمر المؤثر للذرات المشعة في

النسيج يكون اقل من متوسط العمر الفيزيائي اذ ان نفس العلاقة لمتوسط

العمر الفيزيائي

$$T_p^* = \frac{1}{\lambda_p} \dots (5.32)$$

يمكن ان يعبر بها عن متوسط العمر المؤثر

$$T_e^* = \frac{1}{\lambda_e} = \frac{1}{\lambda_p + \lambda_b} \dots (5.33)$$

وان عمر النصف المؤثر يعبر عنه

$$T_e^h = \frac{0.693}{\lambda_p + \lambda_b} = \frac{0.693}{\frac{1}{T_p^h} + \frac{1}{T_b^h}} \dots (5.34)$$

اننا نستطيع حساب عدد الانحلالات الكلي في فترة زمنية فيما لو كان هنالك انحلال فيزيائوي وطرح بايولوجي حيث تحسب بطريقة فيما لو كان عندنا انحلال فيزيائوي فقط ولكن باستعمال متوسط العمر المؤثر بدلا عن متوسط العمر الفيزيائوي وبهذا فان عدد الانحلالات التي يمكن ان تحدث في منطقة يعطى ناتج الفعالية الاولى وبمتوسط العمر المؤثر للفعالية في المنطقة .
 ان عدد الانحلالات على مدى فترة زمنية معينة يعطى من نتائج العدد الكلي للانحلالات اللازمة لتكملة الانحلال التام مضروبا بالجزء من مجموع الذي يحدث في تلك الفترة الزمنية .

2.5 تقديرات الجرعة المتعلقة بالمصدر

يتم في تقديرات الجرعة المتعلقة بالمصادر تأكيد عدد من التأثيرات التي تحدث نتيجة الاشعاع بدلا من حساب احتمالية التأثيرات لكل فرد ومع هذا فان المعلومات الاساسية تقام على اساس متوسط الجرعة الممتصة في كل فرد من افراد المجتمع المشع كما انه يمكن تحويل الجرعة الممتصة لاعطاء مكافئ الجرعة .

وحيث ان من الصعب التعامل مع الجرعة الممتصة او مكافئ الجرعة دائما في المجتمعات المشعة عليه يلجأ الى استخدام كميات جماعية هي مجاميع موزونة للجرعة الممتصة في كل فرد مشع ويتطلب ذلك الحصول على معلومات حول مكونات الكميات المتجمعة التي تبين الاختلافات في متوسط الجرعة الممتصة او مكافئ الجرعة الى اقسام من مجاميع السكان في كلا الفراغ والزمن . ان معدل مكافئ الجرعة المتجمعة ورمزه \dot{S} يعرف بانه تكامل ناتج معدل مكافئ الجرعة الناتجة من المصدر المشع وعدد الافراد في السكان المشعين المتسلمين لتلك الجرعة المكافئة حسب المعادلة

$$\dot{S} = \int H N(H) dH \quad \dots (5.35)$$

حيث يمثل $N(t)d\dot{H}$ عدد الافراد المتسلمين الى معدل جرعة مكافئة تقع بين \dot{H} و $\dot{H} + d\dot{H}$

ومن الممكن ايجاد تكامل معدل مكافئ الجرعة المتجمعة بدلالة الزمن حيث انه يمكن الاستمرار في التكامل الى ما لا نهاية.

ان الكمية الناتجة تدعى مكافئ الجرعة المتجمعة المخصصة من المصدر S_k^c وتعرف هذه الكمية بالمعادلة

$$S_k^c = \int_0^{\infty} S_k(t) dt \quad \dots (5.36)$$

وان هذه لها علاقة دائما بالمصدر الخاص K

ان متوسط الكميات او الكميات لكل فرد مفترض (per caput) يمكن

ان تعرف بواسطة تقسيم الكميات المتجمعة على حجم المجتمع كما في المعادلة

$$\bar{H} = \frac{\dot{S}(t)}{N(t)} \quad \dots (5.37)$$

حيث يمثل $\bar{H}(t)$ معدل مكافئ الجرعة لكل فرد و $N(t)$ هو حجم

السكان في الزمن t ولربما كان مناسبا اكثر تحت ظروف اخرى حساب الكميات لكل فرد بدلا من الكميات المتجمعة.

ولغرض تبسيط عملية حساب الجرعة الاشعاعية المتعلقة بالمصادر توضع نماذج تمثل العلاقة بين المصدر والسكان المعرضين.

1.2.5 النماذج البيئية

من الممكن قياس سرعة امتصاص الجرعة في الهواء من النويدات المشعة التي فيه او المترسبة على الارض في عدد كاف من الاماكن وفي اوقات كافية وعندما يصبح تقدير الجرعة الممتصة من قبل الافراد والسكان نتيجة التعرض الخارجي للاشعاع ممكنا دون الحاجة الى نماذج انتقال بيئية لوصف الطريقة التي

ترسب فيها النويدات المشعة او تصبح عالقة في الهواء من المصدر وبنفس الطريقة فانه اذا كان بالامكان قياس تراكيز الفعالية في انسجة اعضاء الجسم لعدد كاف من البشر فان الجرعة الممتصة الناتجة من دخول المواد المشعة يمكن تقديرها باستعمال نماذج قياس الجرعة فقط دون الحاجة الى نماذج انتقال بيئية تمثل انتقال المواد المشعة في البيئة ومن الممكن قياس الجرعة الداخلية بطريقة اقل مباشرة وهي قياسات تركيز الفعالية للنويدات المشعة في الهواء او المواد الغذائية وفي هذه الحالة فان المعلومات الاضافية المطلوبة هي سرعة التناول للنويدات المشعة في الهواء او في المواد الغذائية المعنية ونموذج مقياس الجرعة الملائم للحصول على الجرعة الممتصة في الاعضاء والانسجة بعد الدخول. تستعمل هذه الطرائق الاقل مباشرة كذلك لبعض النويدات المشعة الناتجة من التفجيرات النووية بوصفها اضافة لبعض برامج القياسات المحددة على البشر، كما انها تستعمل لغرض تقدير الجرعة الممتصة للمجاميع الحرجة من السكان المعرضين نتيجة اطلاق المواد المشعة بصورة متعمدة من المنشآت النووية ولعدد محدد من النويدات المشعة.

كما ان القياسات المباشرة في بعض الاحيان غير عملية وقد يعود ذلك الى الصعوبات التقنية الخاصة بقياس الفعالية للمواد المشعة تحت الدراسة في الوسط الملائم او الى صعوبة الحصول على نماذج او ان عدد النويدات المشعة وطرائق الانتقال كثيرة جدا وقد تكون القياسات المباشرة غير عملية لانه يتطلب التكهن بسرعة تسلم الجرعة على سبيل المثال لاشتقاق الجرعة المتجمعة المخصصة بدلا من القياسات التي يجب ان تجري بعد او عند اعطاء الجرعة وفي هذه الحالات فانه يتطلب نماذج لاشتقاق الجرعة وتوزيع الجرعة من المعلومات عن النويدات المشعة المطروحة الى البيئة وسرعة الاطلاق.

وهذه النماذج البيئية هي تمثيل حسابي بسيط لعمليات الانتقال الواقعية وتكون بعض هذه المعلومات مفهومة بصورة جيدة ويمكن وصفها بصورة دقيقة بما فيه الكفاية بواسطة النماذج الرياضية التي تعتمد بصورة كبيرة على القياسات. ان انتقال النويدات المشعة التي في المتساقطات مثل

السنترونيوم - 90 خلال سلسلة الغذاء يكون مثالا على ذلك.

يعتمد استعمال نوع معين من النماذج على المعلومات المطلوبة اوعلى خواص النويدات المشعة وعلى طريقة دخولها الى البيئة وفيما اذا كانت النويدات المشعة تتوزع بصورة منتظمة وهذا مهم جدا وفيما اذا كان تركيز الفعالية ثابتا بمرور الزمن. ان تحقق هذين الشرطين يؤدي الى بساطة النموذج البيئي المستعمل لتقدير الجرعة الاشاعية للسكان.

ويكون تقدير الجرعة المخصصة الناتجة عن المتساقطات نتيجة التفجيرات النووية في الجو بواسطة معاملات الانتقال غير المعتمدة على الزمن.

ان الطريقة تشمل العلاقة بين تركيز الفعالية في حيز واحد من البيئة والتركيز المماثل في الحيز الذي يليه. ان هذه المعاملات قد عرفت بانها اجزاء من تكامل الزمن المستمر للفعالية في الحيز n في سلسلة الى زمن التكامل المستمر لفعالية مناسبة في الحيز الذي يليه (m) كما في المعادلة

$$P_{mn} = \frac{\int_0^{\infty} A_n(t) dt}{\int_0^{\infty} A_m(t) dt} \dots (5.38)$$

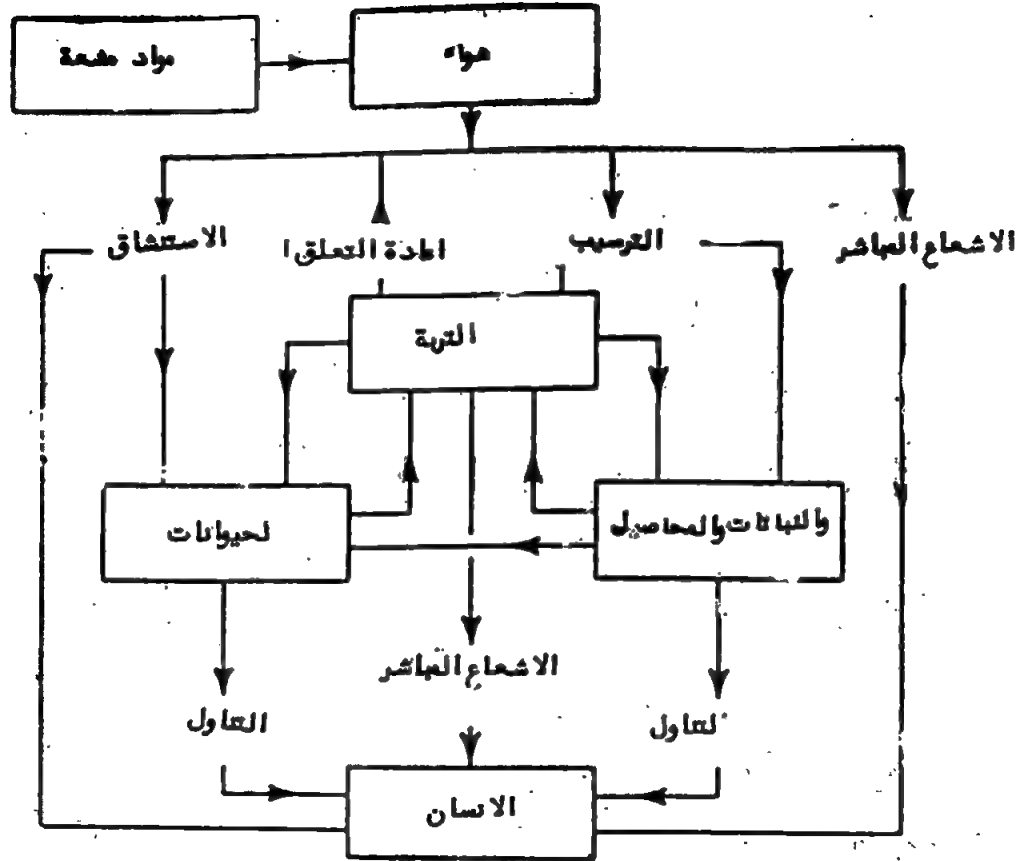
حيث يمثل P_{mn} معامل الانتقال من الحيز m الى الحيز n

و $A_m(t)$ و $A_n(t)$ يمثلان الفعالية المخصصة للحيزان في الزمن t .

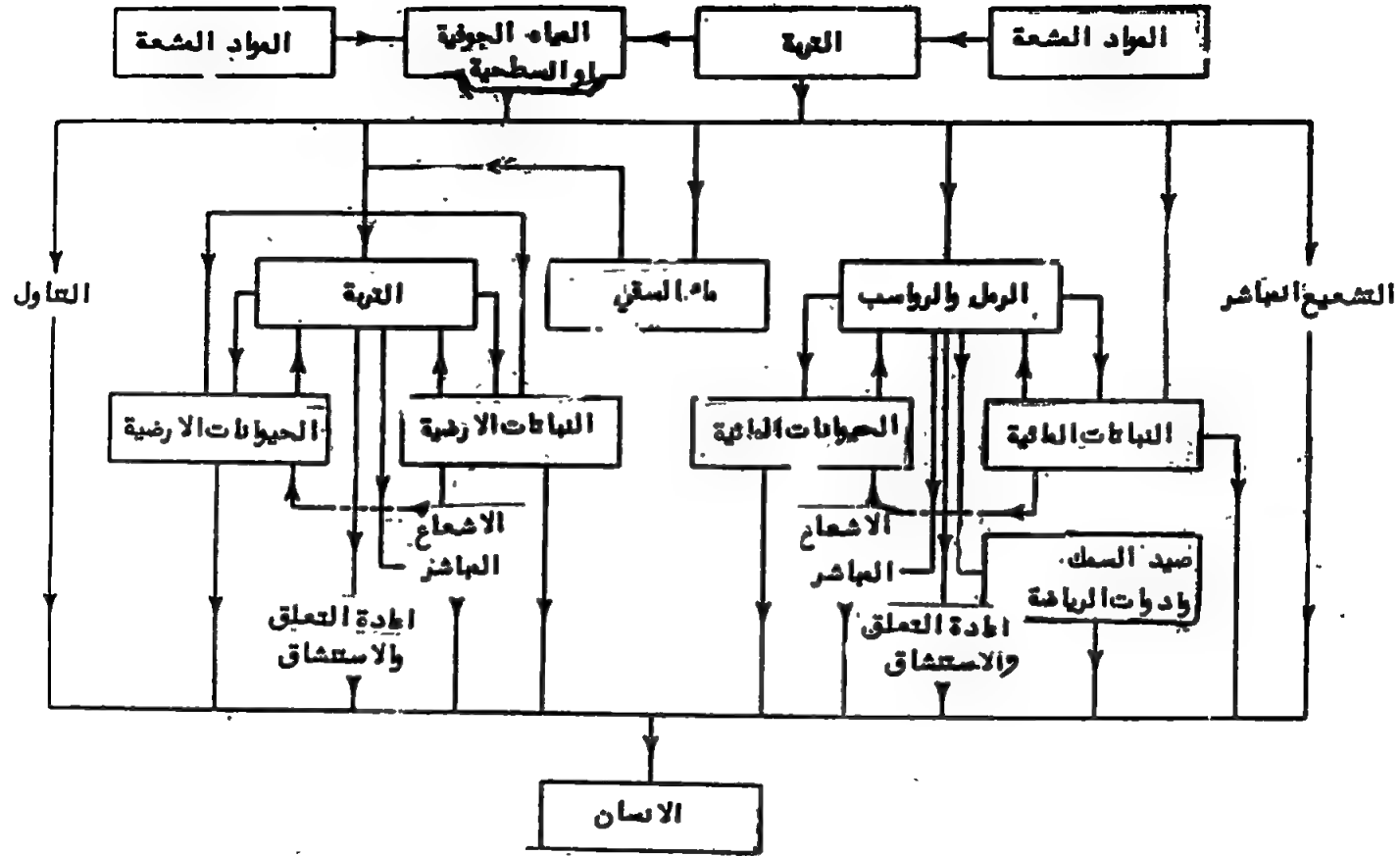
ان هذه الانواع من النماذج تكون امثلة للنماذج التي تحدث خلالها سلسلة من الاحداث المتمثلة بمتواليبة من الحيزات او الحجروان فعاليات الانتقال تجري في هذه الحيزات ولذلك تدعى نماذج الحيزات

(Compartment models). (الشكلان 3.5 و 4.5). ويلاحظ ان الخليط من

النويدات المشعة الصناعية التي تطرح الى الجو والماء من المنشآت النووية تسبب جرعا ممتصة للأفراد. وان الجرعة الممتصة القصوى تشمل مجموع الجرعة المضافة للنويدات من خلال جميع طرائق الانتقال كما انه يمكن حساب معدل الجرعة الممتصة المتجمعة في المجاميع السكانية المختلفة وتكامل معدل تلك الجرعة المتجمعة فيما يخص الفضاء والزمن وكل هذه المتطلبات قد ادت بالنتيجة الى نشوء برامج مفضلة ومعقدة، لغرض التكهّن في المستقبل البعيد.



الشكل 3.5 مخطط توضيحي لانتقال المواد المشعة المعلقة جوا إلى الإنسان



الشكل 45 مخطط توضيحي لانتقال المواد المشعة (المطلقة إلى المياه الجوفية
او السطحية) إلى الإنسان

ان جميع النماذج من ناحية المبدأ تستند الى نتائج لتجارب ويجب ان تخضع للاثبات التجريبي في الاقل لقيم المعاملات الداخلة ان لم يكن لهيئة البرامج . اما القناعة الان فهي ان النماذج المعقدة تكون الحاوية على تفاصيل وصفية وهي الاكثر قبولا وقربا للحقيقة ولهذا فهي اسهل للدفاع عنها من النماذج البسطة ولكن المشكلة فيها صعوبة الحصول على بعض معاملات العوامل الداخلة فيها .

ان الصعوبة الكامنة في مراجعة النماذج المختلفة تكمن في وجود عدد كبير من برامج الحاسبة الالكترونية حيث يوجد هنالك ما يتجاوز مائة برنامج حاسبة يعنى بتقدير الجرعة الاشعاعية الناتجة عن طرح المواد المشعة خلال الاعمال الاعتيادية والحوادث الى البيئة من المنشآت النووية .

الابهام الناتج عن التكهن من النماذج

يفترض ان جميع النماذج (Uncertainty of Prediction from models)

تستند الى المعرفة الخاصة بالنظام الواقعي (Real system) الذي تتم محاكاته وعند الامكان استعمال معلومات تحسب بالتجارب والاعتداد على التكهن يستند الى معرفة النظام وعلى موثوقية المعلومات المستخدمة وكلتا الحالتين متوفرة بصورة مرضية بما فيه الكفاية فيما يخص النماذج المتعلقة بالنويدات المشعة لان هذه النماذج قد استنبطت بصورة افضل لانتقال النويدات المشعة من المواد الملوثة المحتملة الاخرى .

ومن الممكن حساب درجة الابهام الملازمة لعملية التكهن وفي الحالات البسيطة فانه قد يمكن التأكد من تكهن النموذج ولكنه في حالات كثيرة يكون

ذلك يمكننا لبعض الاجزاء من نتائج النموذج او لبعض النويدات المشعة تحت الدراسة. هنالك نوعان من الطرائق التقنية المتوفرة لدراسة واقعية النتائج وهي تشمل تغيير شكل النموذج المستعمل وتقييم الاختلافات في النتائج التي يتم التكهن بها او تغيير المعلومات الداخلة خلال مجال وتقييم التغييرات الحاصلة في التكهن.

لقد تمت دراسة بعض خواص عدد من النماذج مثل نموذج الانتشار الجوي مع التراكيز الملاحظة في المستوى الارضي بعد ان يتم الاطلاق من اماكن مرتفعة ولقد استنتج بان اكثر خطأ محتمل في حسابات المعدل النهائي سوف يأتي من اختيار مخطوء لسرعة الريح ولظروف الاستقرار (Stability conditions)

تستند النماذج المستعملة لتقدير التلوث من التفجيرات النووية بصورة قوية الى المعلومات الملاحظة والتي اشتقت بصورة رئيسة من تقريبات متتالية لقياسات حصل عليها خلال عشرات السنين ولهذا يتوقع ان نحصل على تكهنات جيدة باستعمال هذه البرامج حول نتائج التلوث.

ولكن نماذج الانتقال الغذائية تكون اصعب للاثبات وهي تكون متغيرة اكثر فيما يخص الزمن والفضاء وتكون لها روابط اوسع مع القياسات المباشرة. لقد تم نشر بعض الدراسات عن العلاقة بين بعض اجزاء النماذج مع القيم الملاحظة وعلى سبيل المثال مقارنة التكهن بنموذج الانتقال في التربة مع قياسات لتراكيز فعالية البلوتونيوم على مسافات مختلفة من نقطة الاطلاق وقد كانت النتائج المستحصلة تبلغ ضعف الكمية المقدرة.

ان النماذج المستعملة للانتشار المائي تكون مبسطة اكثر حتى في الانظمة المحددة مثل الانهار. ان الاتجاه العام للفعاليات الفيزيائية في الانظمة المائية هو معدل التركيز المخلوط جيداً ويوجد نفس الاتجاه في النماذج. ان الابهام الرئيس يكمن في الفعاليات التي تعكس هذه الحالة مثل الامتصاص على الرواسب والتركيز الحيوي (Bioconcentration) ولا يتوقع ان يزيد الخطأ في التكهن باستعمال هذه النماذج خلال فترة زمنية متوسطة عن مرتبة واحدة.

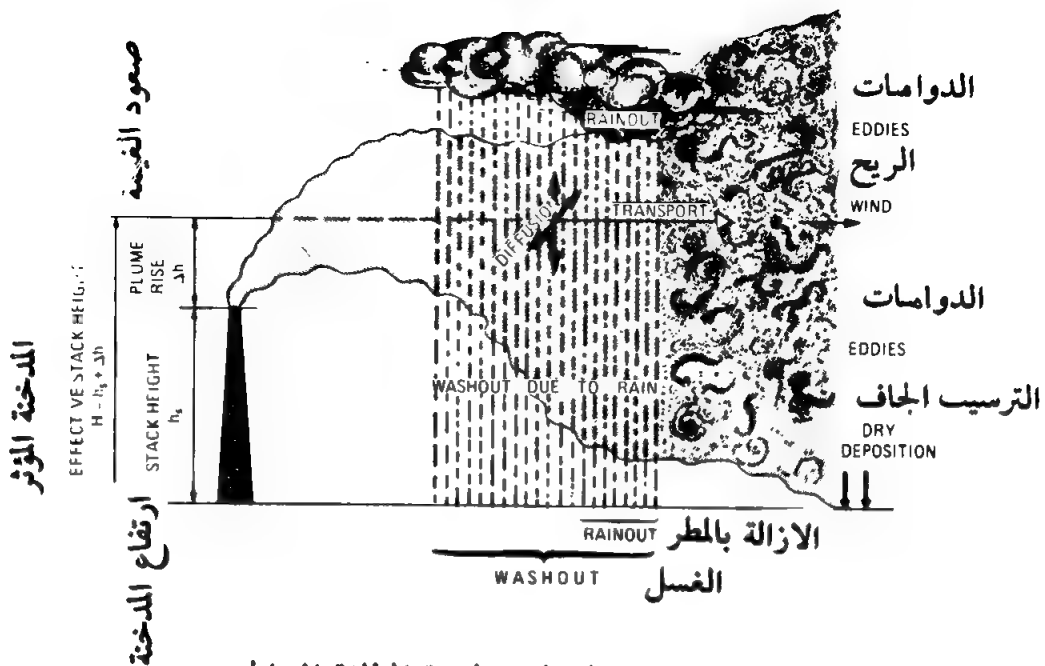
والخلاصة هي انه يجب استعمال طريقة مناسبة لتقدير الابهام الكلي الملازم للنتائج المتكهن بها من جميع النماذج وان درجة الابهام يجب ان تذكر مع النتائج .

2.2.5 نماذج الانتقال الجوية

(Atmospheric transport models)

تتحكم في انتقال المواد المشعة المطلقه الى الجو الفعاليات الخاصة بالخلط الجوي الاعتيادية واذا كانت المواد المشعة بهيئة جسيمات كبيرة فانها تسقط بسرعة تحت تأثير الجاذبية الارضية وان معظمها يستقر قريباً من نقطة التكوين . اما الجسيمات الصغيرة فانها سوف تتحرك مع كتل الهواء كما يحدث للغازات . تترسب المواد المشعة غير الغازية بالترسيب الرطب والترسيب الجاف وينتج عنه ترسب النويدات المشعة على الارض وعلى النباتات وان هذه النويدات المشعة تسبب تعرضاً خارجياً او قد تدخل الاغذية ومصادر مياه الشرب مما يسبب تعرضاً داخلياً او تصبح عالقة لتسبب خطورة محمولة في الهواء مرة اخرى ويوضح الشكل 5.5 المواد المشعة المطلقه جواً من منشأة نووية (قد تكون مفاعلا او معملا لاستخلاص الوقود).

لقد وجد انه من الناحية العملية يمكن استعمال كميات من السهل ملاحظتها ووصفها مثل غطاء الغيوم (Insolation) وسرعة الريح . أن أكثر الأنظمة استعمالاً يستند الى ذلك الذي اقترح من قبل العالم Pasquill الذي يتم فيه وصف ست مجاميع من المناخ (A الى F)



الشكل 5.5 سلوك المواد المشعة المطلقة الى الجو

المصدر 42 (1980) IAEA

اضيفت مجموعة سابعة لاحقاً ورمزها G والتي تصف الاستقرار الجوية كما هو موضح في الجدول 1.5 حيث تمثل المجموعة (category A) اكثر الحالات عدم استقرارية بينما تكون المجموعتان B و C اكثر استقرارية والمجموعة D تكون محايدة وتمثل E و F المجاميع المستقرة وقد اضيفت المجموعة G مؤخراً وهي تكون مجموعة مستقرة جداً.

أن سقوط المطر يمكن ان يحدث في المجاميع C و I وهناك طرائق لحساب اقسام الجو او تعريف اقسام الاستقرار (من اكثر النماذج المفيدة والمستعملة من النماذج الاحصائية هو معادلة الغيوم الكلاوسية (الطبيعية) (Gaussian plume equation) التي اقترحت أول مرة من قبل العالم Sutton وهذه المعادلة تستند الى الحل التجليلي لمعادلة الانتشار تحت فرضيات سرعة ربح ثابتة وعدم وجود قوة تمزق هوائي (Wind Shear) وشكل ارضي مستو وانتشار فيكي (Fickian diffusion)

والمعادلة في اكثر اشكالها عمومية هي الاتي

$$\chi_a(x,y,z) = \frac{A_o}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_y^2} + \exp\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \text{ ----- (5-39)}$$

الجدول 1.5

تقسيم الطقس حسب طريقة Pasquill باستعمال سرعة الرياح والعزل

سرعة الرياح السطحية (Surface wind speed)		العزل (Insolation)		الليل (Night)	
متر / ثانية (m.s ⁻¹)		متوسط moderate		خفيف slight	
قوي strong		متوسط moderate		خفيف slight	
3/8 غيوم		1/2 غيوم		غيوم	
(cloud)		(cloud)		(cloud)	
أقل من 2		B - A		B	
3 - 2		B		C	
2 - 3		B - A		E	
6 - 5		B		D	
أكثر من 6		C		D	

ملاحظة - ان اقسام الطقس مرتبة بصورة متزايدة للاستقرارية حيث تكون A اكثر عدم استقرارية و G اكثر الاقسام استقرارية وان D تستعمل لاي ظروف في الساء تسبق او تلي الليل وكذلك في ظروف الغيوم في الليل او النهار بغض النظر عن سرعة الرياح.

ان الليل يبدأ قبل غروب الشمس ويستمر الى ساعة بعد الفجر.

المصدر 45 (1982) IAEA

لتركيز الفعالية الموازية الى سرعة طرح معين. ان التركيز التكاملي من الفعالية المطروحة يعطي في المعادلة

$$\bar{X}_a(x,y,z) = \frac{A_o}{2\pi \sigma_y \sigma_z v} \exp - \frac{1}{2} \left[\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2} \right] \text{-----}(5-40)$$

و يمثل v متوسط سرعة الريح على ارتفاع 10 متر من سطح الارض ويمثل h ارتفاع الطرح المؤثر بينما تمثل $X_a(x,y,z)$ و $X_a(x,y,z)$ تركيز الفعالية والتركيز التكاملي الزمني لوحدة حجم الهواء في نقطة (x,y,z) σ_y و σ_z هما الانحراف القياسي للقيمة افقياً وعمودياً وتمثل A_o فعالية المصدر بينما يمثل U ارتفاع الطرح المؤثر الذي يأخذ بنظر الاعتبار تأثير المداخلن الطويلة بينما تكون X قيمة المسافة باتجاه الريح وتمثل z الارتفاع فوق سطح الارض لنقطة اخذ النماذج. ان نقطة الاصل هي مستوى الارض تحت نقطة الاطلاق وباشتقاق المعادلتين اعلاه فان الانتشار باتجاه X يمكن تجاهله مقارنة بالنقل بواسطة الريح لما هو مطروح ويستمر لفترة محددة.

ان الانحرافات القياسية σ_y و σ_z غير معروفة بواسطة الافتراضات الرياضية ولكن يجري حسابها من اقسام المناخ الاستقرارية بدلالة المسافة باتجاه الريح وهنالك عدة طرائق لايجاد هذه القيم.

توجد عدة فعاليات ربما تعمل لازالة النويدات المشعة المحمولة جواً وخاصة الانحلال الاشعاعي والترسيب الرطب والترسيب الجاف وكذلك فعاليات اخرى تشمل الارتطام بالسطوح السفلى او المعترضات مثل النباتات الموجودة والامتصاص من الهواء بواسطة النباتات والتفاعلات الكيميائية مع السطوح.

ان نماذج الانتشار الجوية التي وضعت هنا تطبق على سلوك الغيمة المشعة مباشرة بعد الاطلاق وعند مسارها باتجاه الريح. ان المعاملات والنماذج الداخلة تكون معتمدة اكثر لمسافات لحد عشرات من الكيلو مترات بالرغم من انها تستعمل بصورة شائعة لحد 100 كيلو متر.

2.2.5 حساب الجرعة الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى الجو
عند اعطاء تركيز النويدات المشعة في الهواء كما هو مخمن باستعمال
النماذج المختلفة فإنها تسبب تعرضاً للبشر بطرائق مختلفة موضحة في الشكل
6.5 ومنها التشعيع المباشر من الغيمة الحاوية على المواد المشعة والاستنشاق
المباشر من الغيمة واستنشاق المواد المعادة التعلق في الجو والتناول عن طريق
سلسلة الغذاء الارضية والتعرض الى النويدات المشعة المترسبة على سطح
الارض ٢

جرع الانغماس في الهواء (Air immersion doses)

ان الجرعة الاشعاعية المستعملة لفرض تقدير الجرعة الخارجية الناتجة
من الانغماس في الهواء الذي يكون محتوي على النويدات المشعة المطلقة لاشعة
كما هي

$$Dimm = (1.0 \times 10^{-6}) \times 8760 \times Cimm \dots\dots (5.41)$$

حيث تكون Dimm هي جرعة الانغماس في الهواء (ريم/سنة)
X هو التركيز بمستوى الارض للنوييدة المشعة في الهواء ($\mu Ci/cm^3$)
Cimm هو معامل تحويل الجرعة للانغماس في غيمة غير منتهية / ($rem \cdot cm^3$)
($\mu Ci \cdot hr$)

1.0×10^{-6} هي مايكروكيوري في البيكوكيوري ($\mu Ci/pCi$)
8760 هي ساعة في السنة.

جرع الانغماس في بيتا من الغيمة

(Beta submersion dose from the plume)

تكون لدقائق بيتا قابلية نفاذ قليلة في الهواء تبلغ بضعة امتار وان المعادلة
لحساب الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض لها داخل الغيمة هي

$$D_{BP} = \dot{\phi} \left(\frac{X}{\rho} \right) P \cdot S_B \dots\dots (5.42)$$

الشكل 6.5 تعرض السكان الناتج عن اطلاق المواد المشعة الى الجو

حيث تمثل D_{BP} جرع الاحتواء الممتصة السنوية بوحدة الغراي (لطبقة الجلد التي عمقها 0.07 ملمتر) باتجاه الريح p و \dot{p} هو معدل الاطلاق بالبكريل في السنة و G_B جو معامل الجرعة للانغماس في بيتا بوحدة $[Gy(Bq.s.m^{-3})^{-1}]$

وهناك جداول خاصة للحصول على معاملات الجرعة.

جرع الاستنشاق (Inhalation doses)

تستعمل المعادلة التالية لتخمين جرع الاستنشاق في كل موقع بيئي

$$D_{inh} = (1.0 \times 10^{-6})(8760 \times B \text{ Cinh} \dots (5.43)$$

حيث تكون D_{inh} هي جرعة الاستنشاق بوحدة rem/y .
 X هو التركيز بمستوى الارض للنويدات المشعة في الهواء.
 PCi/cm^3

$Br =$ معدل الاستنشاق ($سم^3 / ساعة$)

$C_{inh} =$ هو ثابت تحويل الجرعة للاستنشاق (rem/uCi)

وقيم C_{inh} هي جرع مخصصة ناتجة من تناول الاولى لبكريل واحد من النويد المشعة. ان هذه المعاملات لتحويل الجرعة يجب ان تتضمن مساهمة البنات المشعة المناسبة بعد اخذ النويد الاصل.

جرع تناول الاغذية (Ingestion doses)

ان الجرع الى الاعضاء المختلفة الناتجة من تناول النويدات المشعة ما عدا التريتيوم والكاربون - 14 يتم حسابها من تراكيز النويدات المشعة في الغذاء ومعدلات التناول السنوية للأفراد او للسكان. كما ان تركيز النويدات المشعة في اللحوم والحليب والخضروات يحسب حسابها من خلال نماذج متعددة.

التركيز في وعلى النباتات (Concentration in and on Vegetation)

تتركز المواد المشعة في النباتات نتيجة الترسيب على الاعشاب النباتية ومن امتصاص الفعالية المترسبة اولا على الارض وتستعمل المعادلة التالية لغرض تخمين التركيز $\check{C}_i(r, \theta)$ بوحدات PCi لكل كيلوغرام للنويذة i وكذلك على النباتات في الموقع (r, θ)

$$C_i^v(r, \theta) = d_i(r, \theta) \left\{ \frac{R[1 - \exp(-\lambda_{Ei} t_e)]}{Y_v \lambda_{Ei}} + \frac{B_{iv}[1 - \exp(-\lambda_i t_b)]}{P \lambda_i} \right\} \exp(-\lambda_i t_h), \text{ -----(5,44)}$$

$(d_i(r, \theta))$ هو معدل الترسيب للنويذة المشعة i على الارض في الموقع (r, θ) بوحدات PCi/m^2-hr

$$(d_i(r, \theta) = 3.6 \times 10^7 R t) \text{ و}$$

هو الجزء من الفعالية المترسبة الباقية على الاجزاء الصالحة للاكل (بدون وحدات)

γ_i هو ثابت الانحلال الاشعاعي للنويذة i بوحدات $1/\text{ساعة}$
 Ei ثابت معدل الازالة المؤثر للنويذة المشعة i من المحاصيل في $1/\text{ساعة}$ حيث ان

$$\gamma_{Ei} = \gamma_i + \gamma_w$$

وان γ_w = ثابت معدل الازالة للفقد الفيزيائي الناتج بفعل المناخ
 t_e = الفترة الزمنية التي تتعرض فيها المحاصيل الى التلوث خلال فصل النمو بالساعات.

Y_v = الانتاجية الزراعية (المتوج) للاجزاء الصالحة للأكل من النباتات بالكيلو غرام للمتر المربع.

B_{iv} = معامل التركيز لاختذ النويدات المشعة i من التربة بواسطة الاجزاء الصالحة للأكل في النباتات بوحدات pCi/kg لكل pCi/kg تربة جافة.

t_b = الفترة للتراكم الطويل الامد في التربة بالساعات.

P = الكثافة المؤثرة للخمسة عشر ستمتراً العليا من التربة بالكيلو غرامات (من التربة الجافة) / متر مربع.

t_h = زمن الاحتفاظ الذي يمثل الفترات الزمنية بين الجني واستهلاك النباتات بالساعات.

التركيز في الحليب (Concentration in Milk)

يعتمد تركيز النويدات المشعة i في الحليب على كمية ومستوى التلوث للعلف المستهلك من قبل الحيوانات كما ان تركيز النويدات المشعة i في اعلاف الحيوانات يحسب باستعمال المعادلة التالية

$$\dot{C}_i(r, \theta) = fpfs \dot{C}_i^p(r, \theta) + (1 - fpfs) \dot{C}_i^t(r, \theta) \dots\dots (5.45)$$

حيث ان

$\dot{C}_i^p(r, \theta)$ = تركيز النويدات المشعة i في علف الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

$\dot{C}_i^t(r, \theta)$ = تركيز النويدات المشعة i على حشائش الحقل والمحسوب بالمعادلة السابقة على اعتبار ان t_h يساوي صفراً بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

$\dot{C}_i^t(r, \theta)$ = تركيز النويدات المشعة i في العلف المخزون (المحسوب باستعمال المعادلة 5.45 مع الاختذ بنظر الاعتبار ان $t_h = 2160$ ساعة. بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

fp = الجزء من السنة التي ترعى فيها الحيوانات في المرعى.

fs = الجزء من العلف اليومي الذي يكون حشائش المرعى عندما يتغذى الحيوان في الحقل.

وباستعمال قيمة $Ci(r, \theta)$ المحسوبة بهذه المعادلة فان تركيز النويدات المشعة i في الحليب يقدر بالمعادلة

$$Ci(r, \theta) = Fm Ci(r, \theta) Q_F \exp(-\lambda_{itf}) \dots (5.46)$$

حيث ان

$Ci(r, \theta) =$ تركيز النويدات: في الحليب بوحدات pCi لكل لتر

$Ci(r, \theta) =$ تركيز النويدات المشعة i في علف الحيوان بوحدات pCi لكل كيلوغرام.

$Fm =$ متوسط الجزء من النويدات المشعة i المتناولة يوميا التي تظهر في كل لتر من الحليب بوحدات يوم/لتر

$Q_F =$ مقدار العلف المستهلك من قبل الحيوان في اليوم بوحدات الكيلو غرام/ يوم.

$tf =$ هو متوسط وقت النقل للفعالية من العلف الى الحليب ثم الى المتسلم.

$\lambda_i =$ هو ثابت الانحلال الاشعاعي للنويدات i /يوم.

التركيز في اللحوم (Concentration in meat)

ان تركيز النويدات المشعة في اللحوم يعتمد على كمية ومستوى التلوث للعلف المستهلك بواسطة الحيوانات باستعمال قيمة $Ci(r, \theta)$ كما جرى حسابها في المعادلة (5.45) فان تركيز النويدات المشعة في اللحوم يقدر بالمعادلة التالية

$$Ci^F(r, \theta) = Ff Ci(r, \theta) Q_f \exp(-\lambda_{its}) \dots (5.47)$$

حيث ان

$Ci^F(r, \theta) =$ تركيز النويدات i في لحم الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

$Ff =$ الجزء من التناول اليومي للحيوان من النويدات i الذي يظهر في كل كيلوغرام من اللحوم بوحدات الايام/كغم.

$Ci(r, \theta) =$ تركيز النويدات المشعة i في علف الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

$Qf =$ كمية العلف المتناول من قبل الحيوان في اليوم .

$i =$ ثابت الانحلال الاشعاعي للنويدة i في اليوم .

$ts =$ متوسط الوقت (يوم) من الذبح لغاية الاستهلاك.

حساب الجرعة السنوية لأعضاء الجسم

(Calculation of annual organ doses)

تستعمل المعادلة التالية لحساب الجرعة السنوية المخصصة الى العضو

z للفرد الناتجة من تناول الغذائي لجميع النويدات المشعة المطلقة الى الجو ما عدا الكربون - 14 والتريتيوم في منتجات الحليب واللحوم والخضروات الورقية .

$$D_j^p(r, \theta) = \sum DFI_{ij} [U^v f_g C_i^v(r, \theta) + U^m C_i^m(r, \theta) + U^f C_i^f(r, \theta) + U^a f_1 C_i^a(r, \theta)] \dots$$

(5.48)

حيث ان $D_j^p(r, \theta) =$ الجرعة السنوية المخصصة الى العضو z للفرد

من التناول الغذائي للنويدات المشعة المطلقة الى الجو

$DFI_{ij} =$ معامل تحويل الجرعة لتناول النويدة i للعضو z بوحدات

$$mrem / pCi$$

$U^v, U^f, U^m, U^a =$ معدلات التناول للمنتجات (الخضروات غير الورقية والفواكه

والحبوب) الحليب واللحوم والخضروات الورقية على التوالي للأفراد .

$f_g =$ الجزء من المنتج المتناول المنمى في منطقة تهمنا .

$f_1 =$ الجزء من الخضروات الورقية المنمى في منطقة تهمنا

ان المصطلحات الواردة في المعادلة والتي هي

$C_i^v(r, \theta)$ و $C_i^m(r, \theta)$ و $C_i^f(r, \theta)$ و $C_i^a(r, \theta)$ تمثل الجرعة الى العضو

z الناتجة عن تناول المنتج الحليب واللحوم والخضروات الورقية على التوالي

حيث سبق ان تم حسابها لغرض استعمالها في معادلة حساب الجرعة

المخصصة . كما ان القيم المستعملة للمعاملات te و Y_v و th هي

تلك المناسبة للمنتجات المستهلكة من قبل البشر .

ان معاملات تحويل الجرعة يجب ان تتضمن مساهمة الاهل كذلك والبنات المتراكمة بعد التناول.

حساب الجرعة للتريتيوم

قد يطلق التريتيوم (T) الى الجوعلى شكل HT او T_2 . ان ذرات التريتيوم ربما تتبادل مع ذرات الهيدروجين في جزئيات الماء في الهواء وبهذا فاننا نتعامل مع الغيمة كأنها حاوية HTO في البداية. ومن الممكن افتراض ان التريتيوم يتبع الماء بصورة دقيقة في البيئة. وعلى هذا الاساس فان الجرعة الاشعاعية الناتجة من تناول الاغذية او شرب المياه في منطقة ما تتناسب مع تركيز التريتيوم في الهواء.

ان مجموع جرعة التريتيوم الناتجة عن التناول فيما لو اعتبر ان مصدر الماء في غذاء وشرب فرد ما ينشأ في نفس المنطقة التي يسكن فيها معبر عنه بالمعادلة

$$Dt = C_f X + C_w X \dots (5.49)$$

حيث ان Dt = مجموع جرعة التناول (ريم في السنة)

C_f = معامل تحويل الجرعة للغذاء (ريم - سم³/PCi سنة)

C_w = معامل تحويل الجرعة لماء الشرب (ريم - سم³/PCi سنة)

X = مستوى التركيز الارضي للتريتيوم في الهواء في موقع معين PCi/سم³.

ان معامل تحويل الجرعة لعموم الجسم الناتج من التناول هو 8.3×10^{-5}

ريم لكل PCi ان هذا العدد يستعمل لاشتقاق القيمة C_f استناداً الى الفعالية الخاصة (Specific activity) للتريتيوم في الرطوبة الجوية مع متوسط رطوبة خاصة مقدارها 8 غرامات من الماء لكل متر مكعب من الهواء.

واذا كان التريتيوم في الغذاء متوازناً مع التريتيوم الجوي وان الانسان

يستهلك 1638 غرام من الماء في غذائه فان قيمة C_f تساوي 6.18

ريم - سم³/PCi - سنة كما ان قيمة C_w للتناول اليومي للماء الذي يكون مقداره 1512 غرام تبلغ 5.70 ريم - سم³/PCi - سنة. ان هذه القيمة

تستعمل متى ما كانت جميع مياه شرب الفرد مستهلكة في منطقته وفي جميع الحالات الاخرى فان C_w يجب ان تحفظ لغرض اخذ التخفيف الذي يحصل نتيجة البعد عن المصدر.

الجرع الناتجة عن الكربون - 14

اذا اطلق الكربون-14 على شكل CO_2 فانه سوف يختلط مع غاز ثاني اوكسيد الكربون الجوي ويكون بذلك متوفرا لعملية التركيب الضوئي للنبات. ان الحيوانات التي ترعى الحشائش سوف تتناول الكربون - 14 مع الحشائش ومن ثم فانه سوف يصل الى الانسان في الحليب واللحوم. هنالك عدد من معاملات الجرغ التي تعتمد على حسابات الفعالية الخاصة للكربون - 14 في انسجة الجسم التي هي في حالة توازن مع الكربون-14 الجوي. وتأتي جميع الجرغ الاشعاعية الناتجة من الكربون-14 من تناول الحليب واللحوم والخضروات ويجري تقدير وزن الكربون الكلي المتناول في اليوم بواسطة العلاقات

$$W_v = 74.96 V$$

$$W_b = 238.16 T_b$$

$$W_c = 68.9 T_c$$

$$W_t = W_v + W_b + W_c \dots\dots (5.50)$$

حيث ان W_v و W_b و W_c و W_t تساوي اوزان الكربون المتناول يوميا عن طريق الخضروات واللحوم والحليب والمتناول الكلي على التوالي.

$$V = \text{استهلاك الخضروات اليومي كيلوغرام}$$

$$T_b = \text{استهلاك اللحوم اليومي كيلوغرام}$$

$$T_c = \text{استهلاك الحليب اليومي لتر.}$$

ان التعديل (Normalization) يحصل عليه بواسطة استعمال الاجزاء

الموزونة (Weight frations) للكربون

لكل نوع من الغذاء في معادلات الجرعة .

$$D_v = C F_v (F_v \{X + F_v 2X_v\}) \dots\dots(5.51)$$

$$D_b = C F_b (F_b \{X + F_b 2X_b\}) \dots\dots(5.52)$$

$$D_c = C F_c (F_c \{X + F_c 2X_c\}) \dots\dots(5.53)$$

حيث ان D_c, D_b, D_v تساوي جرعة التناول (الهضم) للكربون - 14 في الخضروات واللحوم والحليب (رسم/سنة)

C = معامل تحويل الجرعة للكربون - 14 (رسم - سم/ pCi - سنة)

F_v = الجزء الموزون للكربون - 14 من الخضروات (W_v/W_t)

F_b = الجزء الموزون للكربون - 14 من اللحوم (W_b/W_t)

F_c = الجزء الموزون للكربون - 14 في الحليب (W_c/W_t)

F_v1 = الجزء من الخضروات المتناولة المنتجة في منطقة الشخص المتناول

F_v2 = الجزء من الخضروات المتناولة التي يمثل مصدرها المتوسط المنتج في المنطقة المخمئة .

F_b1 = كما في اعلاه F_v1 ما عدا المنطبق على اللحوم

F_b2 = كما في اعلاه F_v2 ما عدا المنطبق على اللحوم

F_c1 = كما في اعلاه F_v1 ما عدا المنطبق على الحليب

F_c2 = كما في اعلاه F_v2 ما عدا المنطبق على الحليب

X = مستوى التركيز الارضي للكربون - 14 في الهواء في المواقع المفردة

المختلفة pCi لكل سم³

X_v = متوسط التركيز في المستوى الارضي للكربون - 14 في الهواء فوق

المنطقة المخمئة موزون بواسطة الكميات من الخضروات المنتجة بدلالة الموقع .

X_b = كما في اعلاه X_v ما عدا المطبق على اللحوم

X_c = كما في اعلاه X_v ما عدا المطبق على اللحوم

ان مجموع الجرعة الناتجة من الكربون - 14 هو مجموع كل من

D_c, D_b, D_v

جرع كاما الناتجة من الارض الملوثة

(Gamma dose over contaminated ground)

ان المعادلة اللازمة لحساب جرع كاما الناتجة من التعرض الى اشعة كاما المنبعثة من الارض الملوثة هي

$$Dbp = \dot{Q}(\bar{F}p + \bar{W}p) K_b g_b \dots (5.54)$$

حيث ان \dot{Q} هي معدل الاطلاق بالبكريل في السنة و Dbp هي الجرعة الممتصة السنوية من الارض الملوثة الناتجة من النويدات المشعة i بالغراي بالقطاع p و $\bar{W}p$ هو معامل الغسل بوحدات 1 / متر مربع للقطاع p .

$$K_p = [1 - \exp(-\lambda t_{B0})] / \lambda \dots (5.55)$$

ويحصل عليه بجداول خاصة و λ هو ثابت الانحلال الفيزيائي و t_{B0} الزمن الذي تستغرقه النويدات المشعة i للترسب على الارض و $t_{B0} = 50$ سنة و g_b معامل تحويل الجرعة للاشعاع الارضي بوحدات $(Gy(Bq.s.m^{-2}))^{-1}$ ويحصل عليه من جداول خاصة.

3.2.5 حساب الجرعة الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى البيئة المائية .

ان النويدات المشعة تنتقل في البيئة المائية عن طريق الحركة الافقية والتناقل والانتشار. ان التعامل مع المواد العالقة والرواسب هو من الفعاليات الفيزيوكيميائية المهمة وتحت بعض الظروف فان التفاعل مع الاحياء المائية ربما يعطي طريقة انتقال مهمة كذلك ولغرض حساب تركيز الفعالية لكل جزء من اجزاء البيئة المائية ولطرائق استعمال الانسان لمصادر المياه (الشكل 7.5) فقد وضعت بعض النماذج. ان ابسط النماذج المائية هي تلك التي تعتبر الماء الذي يتسلم المواد المشعة بصفة حجم مفرد ويفترض بان النويدات المشعة تخفف بصورة منتظمة في هذا الحجم من الماء.



الشكل 7.5 تعرض السكان الناتج عن إطلاق المواد المشعة الى البيئة المائية

التركيز في البيئة المائية (Concentration in aquatic media)

ان تركيز النويدات المشعة في الماء او في رواسب الشاطئ او في منتجات الاغذية المائية يتم حسابه من معدلات الطرح السنوية من المنشآت النووية ومن معدلات انسياب النفايات (Effluent flow rates) ومن عمليات المزج والتخفيف في وسط الاستقبال (النهر مثلاً) ومن معاملات التركيز الحيوية (Bioaccumulation factors) للكائنات المائية.

كما ان نسبة المزج M_p ترمز الى تخفيف النفايات السائلة بين نقطة الطرح وموقع التعرض. واذا حدث زيادة في درجة الحرارة بسبب عمليات المزج بالدرجة الاساس فان نسبة المزج يمكن ان تقدر بالمعادلة التالية

$$M_p = \frac{T_p - T_A}{T_o - T_A} \dots\dots\dots (5.56)$$

حيث تمثل T_A درجة حرارة الجو لمنطقة التسلم و T_p تمثل درجة الحرارة في منطقة التعرض لطريق الانتقال P فيما لو لم يكن هنالك تبخير او تأثيرات اشعاعية.

T_o درجة حرارة النفايات في نقطة الطرح.

ان معامل اعادة التركيز (Reconcentration factor) ورمزه N_i يرمز الى الدرجة التي تتم فيها مداورة النفايات خلال المنشأة النووية. واذا لم يكن هنالك اعادة تركيز فان قيمة $N_i = 1$ وقد تستعمل عدة معادلات لغرض حساب معامل اعادة التركيز. ومتى ما حسبت نسبة الخلط M_p ومعامل اعادة التركيز N_i فان التركيز في الماء C_{iw} للنوييدة المشعة i يحسب بالمعادلة

$$C_{iw} = 1119 \Phi_i N_i M_p / Fr \dots\dots\dots (5.57)$$

حيث ان 1119 هي وحدة معامل التحويل من كيوري / سنة لكل قدم³ / ثانية الى pCi لكل لتر.

Φ_i هو معدل اطلاق النوييدة المشعة i كيوري / سنة و Fr هو معدل جريان النهر السنوي (قدم³ / ثانية) .

يتعلق تركيز النويدات المشعة في الاغذية المائية بصورة مباشرة بالتركيز في الماء. ان نسب التوازن بين هذين التركيزين يدعى معاملات التراكم الحياتية.

ان التركيز في الاغذية المائية C_{ip} وعلاقته بالتركيز في الماء معطى بالمعادلة التالية

$$C_{ip} = C_{iw} B_{ip} \dots\dots (5.58)$$

حيث تمثل B_{ip} معامل التراكم الحياتي للنوييدة وطريق الانتقال P .

جرع الانغماس في الماء (Water immersion doses)

ان المعادلة المستعملة لحساب الانغماس في الماء هي

$$D_{wimm} = (1.0 \times 10^{-6}) (8760) \frac{R_t}{d} \frac{1 - \exp(-\lambda T t)}{\lambda t} (86400) C_{wimm} \dots\dots (5.59)$$

حيث تكون D_{wimm} هي جرعة الانغماس في الماء (rem / سنة)

R_t هو معدل الترسيب السطحي ($\mu Ci / سم^2$ - ثانية)

d هو عمق الماء بالسنتيمتر

λ_T هو ثابت الانحلال الاشعاعي λ_r + ثابت الانحلال البيئي للماء

λ_w (الذي يساوي 1 / يوم)

t هو زمن التراكم في الماء (يوم)

C_{wimm} هو معامل تحويل الجرعة للانغماس في الماء بوحدة

rem - μCi مايكروكيوري (MCi) ساعة

الجرع الاشعاعية الناتجة عن استهلاك الاسماك

وتحمن باستعمال المعادلة

$$DRF = C_i D_e B_f G_D D_y V_{IN} R/M \dots (5.60)$$

حيث ان C_i هو تركيز النويدات المشعة بوحدة البكريل/سم³ و D هو معامل تحويل الجرعة الى مليسيفرت/سنة و B_f هي معامل التراكم الحيوي لنويدات مشعة في الاسماك، هنالك قيم للمياه العذبة والمياه المالحة تستخلص من جداول خاصة و G_D معدل تناول الاسماك من قبل الافراد بوحدة غرام في اليوم و D_y هو عدد الايام في السنة و V_{IN} هو معامل تحويل جرعة التعرض الخارجي بوحدة مليسيفرت في السنة لكل بكريل و R/M هو معامل مقداره 10^3 مليسيفرت في كل 1 سيفرت.

الجرع الاشعاعية الناتجة من شرب الماء

ان الجرعة الاشعاعية الناتجة من تناول الماء الملوث بالنويدات المشعة المطلقة الى البيئة يمكن ان تحسب باستعمال المعادلة

$$DRWI = C_i A_c C_d D_y V_{IN} R/M \dots (5.61)$$

حيث ان القيم $R/M, V_{IN}, D_y, C_i$ مماثلة للقيم المعطاة لحساب الجرعة الناتجة من تناول الاسماك الملوثة بالنويدات المشعة و A_c يمثل 10^3 سم في اللتر الواحد و C_d هي معدل استهلاك الانسان للماء بوحدة اللتر في اليوم.

الفصل السادس

الجرع الاشعاعية الناتجة من تعرض السكان للاشعاعات
المؤينة

Radiation Doses Due to Public Exposure to Ionizing Radiation

مسیحیوں کے لئے

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل السادس

الجرع الاشعاعي الناتجة من تعرض السكان للاشعاعات المؤينة

من الممكن تقدير ومقارنة جرع التعرض الى المصادر المشعة الطبيعية والمصنوعة من قبل البشر.

ان بعض هذه المصادر منتشرة عالميا كما هو الحال لمعظم النويدات المشعة الطبيعية وهنالك مصادر اخرى تكون ذات مواقع ثابتة مثل الطرح من المنشآت النووية.

كما ان بعض المصادر مثل اجهزة الاشعة السينية تعطي تعرضا خارجيا فقط ولا تسبب اي تلوث للبيئة وهنالك مصادر اخرى تؤدي الى توزيع النويدات المشعة بصورة واسعة في اي او كل قواطع البيئة مثل الهواء والترية والماء. ان التعرض ربما يكون الى اشعاع خارجي او تعرض داخلي او اندماج كليهما.

ان كميات مقياس الجرع التي تستعمل لوصف تعرض الافراد او السكان الى الاشعاع قد تم التكلم عليها في الفصل السابق. ان اوسع كمية مستعملة لوصف التعرض هي الجرعة الممتصة في اي نسيج او عضو وكلما كان ذلك ممكنا فان النتائج تنتشر اولا على شكل جرعة ممتصة او مكافئ جرعة يحتاج لها للجمع بين مترتبات الاشعاع المختلفة اما الجرعة المؤثرة المكافئة فانها تستعمل للدلالة على مخاطر الاشعاع النسبية للاحتتمالية (Stochastic) الناتجة عن تشعيع اعضاء الجسم. ان هذه الكميات تعتبر ملائمة لوصف تشعيع الافراد ولاي فرد فانه يمكن استعمال مكافئ الجرعة المؤثرة للحصول على تخمين معقول لاحتمالية الحث على حدوث تأثير قابل للتخمين كالامراض السرطانية القاتلة والتأثيرات الوراثية الشديدة في الجيلين الاولين.

ان نماذج مقياس الجرعة اللازمة لتقدير الجرعة للاعضاء والانسجة من القياسات للجرعة الممتصة في الهواء قد تم وصفها وكذلك تلك التي تظهر الحاجة لها لتقدير الجرعة في الاعضاء والانسجة من تناول الفعالية او من تركيز

الفعالية في نفس الانسجة والاعضاء الاخرى. انها تستند الى قياسات حركة النويدات المشعة في الجسم وسرعة التخلص منها لنسيج او عضو معين في الجسم وخواص الاعضاء والانسجة وكذلك الاشعاع المنبعث من كل من النويدات المشعة. يعتمد في بعض الاحيان لتقدير الجرعة من اي مصدر الى القياسات المباشرة وهذه القياسات ربما تكون لمعدل الجرعة الخارجية كما في معظم التقديرات للتعرض المهني الذي سوف يتم التكلم عليه في الفصل السابع وكذلك التعرض الخارجي الناتج من المتساقطات او الجرعة الناتجة من الاشعة السينية او من تركيز الفعالية في اعضاء وانسجة جسم الانسان ولبعض التعرض الناتج من اندماج النويدات المشعة المنتجة طبيعيا. هنالك تقديرات اقل مباشرة يمكن اجراءها من قياس تركيز فعالية النويدات المشعة في الهواء والاغذية التي تستهلك من قبل الناس وفي هذه الحالة فانه يتطلب توفير معلومات اضافية لسرعة تناول النويدات المشعة من الهواء والاغذية المتناولة قبل استعمال نماذج مقاييس الجرعة. ان هذه الطرائق الاقل مباشرة تستعمل لعدد من النويدات المشعة المنتشرة في البيئة وخاصة لتقدير تعرض الافراد للتشعيع نتيجة لطرح المواد المشعة من المنشآت النووية وكذلك لتقدير الجرعة الاشعاعية من بعض النويدات المشعة الناتجة من مصادر الاشعاع الطبيعية.

الجرعة الاشعاعية الناتجة من التعرض الى مصادر الاشعاع الطبيعية

(Radiation doses due to the exposure to natural radiation sources.)

تشمل مصادر الاشعاع الطبيعية الاشعة الكونية والعناصر المشعة المتولدة بفعل الاشعة الكونية ومصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي.

1.1.6 دليل كمية الجرعة الممتصة من الاشعة الكونية

(Absorbed dose indexes from cosmic rays)

ويتألف هذا الدليل من اثنين من المكونات هما المكونات المؤينة والنيوترونات وهما يسببان تعرضا خارجيا للاشعاع

المكونات المؤينة

يعتبر معدل التاين (Ionization rate) لوحدة حجم الهواء لكثافة الفيض لجميع الجسيمات المشحونة من مكونات حقل الاشعة الكونية ويصطلح عليه اعتياديا كعدد الايونات المتولدة في الثانية لكل سنتيمتر مكعب من الهواء في الظروف القياسية من حرارة وضغط حيث تتراوح قيمته على مستوى سطح البحر 1.9 - 2.6 سم مكعب في الثانية وعلى هذا الاساس فان دليل كمية الجرعة الممتصة في الهواء هو $3.2 \times 10^{-3} \text{ mGy}^{-1}$

ان الجرعة المتسلمة من تصادم مون الالكترونات (Muon collision electrons) يشكل نحو 75% من دليل كمية الجرعة الممتصة بينما يعطي انحلال مون الالكترونات (Muon decay electrons) نحو 15% بينما تنتج العشرة بالمائة الباقية من دليل الجرعة الممتصة من الفعاليات الاخرى.

ان دليل الجرعة السنوية الممتصة (Annual absorbed dose index) الناتجة من التعرض الى هذا النوع من الاشعاع يبلغ 0.28 ملغراي في الساعة على مستوى سطح البحر مع اهمال كون البنات تولد درعا واقيا.

مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية الناتجة من الاشعة الكونية

(Annual effective dose equivalent from cosmic rays)

ان مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية الناتجة من المكونات المؤينة والنيوترونات تمثل الجرعة المتسلمة من قبل كل اعضاء الجسم وحيث ان القيمة النوعية (Quality factor) للاشعة المؤينة هي واحد لذلك تكون الجرعة الناتجة هي 0.28 ملي سيفرت على مستوى سطح البحر اما النيوترونات فان القيمة النوعية هي 6 لذا فان الجرعة الناتجة تكون $10^{-2} \times 2.1$ ملي سيفرت في مستوى سطح الارض.

2.1.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة من التعرض إلى النويدات المشعة المولدة بفعل الأشعة الكونية

تضيف هذه المجموعة من النويدات المشعة قليلا إلى الجرعة الإشعاعية الناتجة من الطبيعة (Natural background). أن النويدات المشعة مثل التريتيوم والبريليوم -7 والكربون -14 والصوديوم -22 الناتجة بفعل الأشعة الكونية تعتبر من أكثر النويدات المشعة لهذه المجموعة أهمية. أن الجرعة السنوية الممتصة نتيجة التعرض إلى هذا النوع من التريتيوم تبلغ $10^{-6} \times 1$ غراي لجميع أنسجة الجسم أما البريليوم -7 فإن الجرعة الإشعاعية تكون أقل من $10^{-6} \times 2.5$ غراي لأنسجة الجسم المختلفة أما الكربون -14 فإن الجرعة الممتصة السنوية للأنسجة تتراوح بين $10^{-6} \times 5$ إلى $10^{-6} \times 2.2$ غراي. أن الجرعة الإشعاعية الناتجة من هذه النويدات المشعة تعتبر ناتجة عن التعرض الداخلي بالدرجة الأساس.

3.1.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة من التعرض إلى النويدات المشعة الملائمة لتاريخ الأرض

وتشمل هذه النويدات المشعة البوتاسيوم -40 وكذلك العناصر المشعة التابعة لسلسلة اليورانيوم -238 والثوريوم -232 وكذلك بعض نواتج الانشطار الذاتي لليورانيوم -238 وهي تسبب تعرضا خارجيا وتعرضا داخليا للإشعاع.

الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي

تشمل الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي للإشعاع من النويدات المشعة ذات المنشأ الأرضي (الملائمة لتاريخ الأرض)

والجرع الاشعاعية خارج الابنية (العراء) حيث تحسب الجرعة الاشعاعية عادة على مسافة متر واحد فوق سطح الارض. ان هذا التعرض يأتي من سلسلة اليورانيوم وسلسلة الثوريوم والبوتاسيوم - 40 .

ويكون معدل الجرعة الممتصة الناتجة من الارض في العراء هو 10^{-5} غراي في الساعة. ان هذه الجرعة الممتصة قد تختلف من بلد الى بلد اخر وتتراوح الطبيعية منها بين $10^{-4} \times 3.7$ الى $10^{-4} \times 9.4$ غراي لكل ساعة. ان نحو 95% من سكان العالم يعيشون ضمن هذا المجال ويقع العراق ضمن هذه المجموعة.

هنالك مناطق في العالم تتجاوز الجرعة الاشعاعية الطبيعية فيها الناتجة من قشرة الارض هذه الحدود ومن هذه المناطق بعض المقاطعات الايطالية مثل لازيو (Lazio) ومقاطعتي كامباني (Campania) وكذلك بعض مناطق البرازيل وفرنسا ونايجيريا وذلك بسبب وجود الخامات المحتوية على نسب عالية من اليورانيوم والثوريوم ومن امثلة ذلك مادة المونوزايت (Monazite) المحتوية على 9-10.5% ثوريوم. ان الجرعة الاشعاعية في هذه المناطق قد تبلغ $10^{-4} \times 2.3$ غراي لكل ساعة .

الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض داخل الابنية

تكون معرفة مستوى الاشعاع داخل الابنية ضرورية لتقدير الجرعة الاشعاعية للسكان وذلك لان اكثر الافراد يقضون جزءاً كبيراً من اوقاتهم داخل الابنية. ان العلاقة بين الجرعة الاشعاعية المتسلمة داخل الابنية والجرع الاشعاعية المتسلمة خارجها يعتمد بالدرجة الاولى على نوع المواد التي تصنع منها الابنية ومنشأ هذه المواد.

ان الابنية تسلك بصفة مصدر للتعرض. من ناحية ومن الناحية الاخرى تسلك بصفة دروع واقية من التعرض الذي يأتي من خارج الابنية.

ان السكن داخل ابنية مصنوعة من الخشب يسبب تعرضا ضئيلا جدا وبنفس الوقت لا تكون هذه الابنية دروعا واقية جيدة من مصادر الاشعاع خارجها. وبصورة عامة فان معدل الجرعة الممتصة داخل هذه الابنية يكون أوطأ من الجرعة الممتصة في العراء اما في الابنية المصنوعة من الطابوق او الكونكريت او الصخور فان اشعة كاما التي هي من مصدر خارج الابنية تمتص من قبل الجدران وتكون الجرعة الممتصة معتمدة على النشاط الاشعاعي للنويدات المشعة الطبيعية التي في مواد البناء وفي كثير من الحالات فان مواد البناء تكون محلية وبذلك تكون مساوية من ناحية النشاط الاشعاعي للتربة او المناطق المبلطة المحيطة بالمناطق السكنية وعندئذ قد تصبح نسبة التعرض داخل الابنية الى التعرض في العراء نحو 1.18 وتفاوت حسب الشكل الهندسي للبناء ووجود الابواب والنوافذ وتكون النسبة نحو 1.35 عندما يكون البيت مصنوعا من الطابوق و 1.48 عندما تكون البنية مصنوعة من الكونكريت .

أن المعدل العالمي للجرع المتسلمة نتيجة التعرض الخارجي هو $10^{-4} \times 4.9$ غراي لكل ساعة وتبلغ الجرعة الاشعاعية الممتصة بصفة معدل عالمي $10^{-5} \times 5.8$ غراي لكل ساعة.

4.1.6 مكافئ الجرعة السنوية المؤثرة الناتجة من التعرض الى اشعة كاما الارضية

التعرض الخارجي

ان من الممكن اعتبار الرقم 0.7 افضل نسبة لمعدل الجرعة الممتصة في الجسم مقارنة للجرع الممتصة في الهواء. ان هذه النسبة تنطبق على الذكور والاناث كما تنطبق داخل الابنية وفي العراء كذلك واذا اخذنا بنظر الاعتبار ان الافراد يقضون 20 % من الوقت في العراء وان المعامل النوعي لاشعة كاما

هو واحد يكون مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية لاشعة كاما الارضية في العراء هو $10^{-5} \times 5.5$ سيفرت وتكون القيمة داخل الابنية $10^{-4} \times 2.6$ سيفرت. على اعتبار ان الافراد يقضون 80% من الوقت داخل الابنية وبذلك تكون الجرعة المتسلمة داخل وخارج الابنية الناتجة من التعرض لاشعة كاما ذات المنشأ الارضي $10^{-4} \times 3.2$ سيفرت. وبالإضافة الى اشعة كاما فان اشعة بيتا المنبعثة من بعض النويدات المشعة الطبيعية التي في الهواء والترية تسبب تعرضاً لجرع اشعاعية واطئة تقدر بـ $10^{-6} \times 7$ سيفرت في السنة بينما تضيف نواتج انحلال الرادون والثورون في الهواء قليلا الى التعرض الخارجي لاشعة كاما.

الجرع الاشعاعية الناتجة من التشعيع الداخلي

النويدات المشعة ذات المنشأ الارضي التي تسبب جرعا اشعاعية عن طريق التشعيع الداخلي هي تلك المنتمية الى سلسلة اليورانيوم - 238 واليورانيوم - 235 والثوريوم - 232 وبعض النويدات المشعة الاخرى مثل البوتاسيوم - 40 والرابديوم - 87 وهذه هي المهمة منها فقط بوصفها مصدرا للجرع الاشعاعية. ان اعلى جرعة ممتصة مسببة بفعل البوتاسيوم - 40 هي لنخاع العظام الاحمر وتبلغ $10^{-4} \times 2.7$ غراي / سنة. اما الرابديوم - 87 فان الخلايا المبطنة للعظام تتسلم اعلى جرعة نتيجة التعرض له وتبلغ هذه $10^{-6} \times 8$ / سنة.

ان الجرعة السنوية الممتصة الناتجة من اليورانيوم - 238 تبلغ $10^{-6} \times 2$ غراي للثة و $10^{-6} \times 3$ غراي في السنة للخلايا المبطنة للعظام. اما الثوريوم - 230 فان مكافئ الجرعة السنوية الكلية يبلغ $10^{-6} \times 6.8$ سيفرت. كما ان الراديوم - 220 يسبب جرعا اشعاعية كذلك ويبلغ مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية الناتجة $10^{-6} \times 6.2$ سيفرت.

يكون استنشاق الرادون - 222 ونواتج انحلاله القصيرة العمر هو الطريق الرئيس لتعرض البشر لهذه النويدات المشعة. كما ان معدل تركيز الرادون - 222 المكافئ في الهواء المحصور داخل الابنية يبلغ 10 اضعاف تركيزه في الهواء الطلق بالاضافة الى ان استعمال المياه الحارة تراكيز عالية منه في البيوت يؤدي الى زيادة الجرعة الاشعاعية الناتجة عنه.

ان مكافئ الجرعة المؤثرة للرئة هو 4.6×10^{-5} سيفرت لكل بكريل/م³ في السنة داخل الابنية و 1.5×10^{-5} سيفرت لكل بكريل/م³ في السنة فيما يخص التعرض له في الهواء الطلق.

كما ان الجرعة الممتصة من سلسلة الرصاص - 210 تعتمد بالدرجة الاولى على دقائق الفا لليولونيوم - 210 ذات الطاقة العالية بينما تعطي دقائق بيتا الناتجة من الرصاص - 210 والبزموت - 210 نحو 10% من المجموع الكلي للجرعة البالغ 6×10^{-4} غراي.

يكون الثوريوم - 232 هو النوييدة المشعة الوحيدة الطويلة العمر في سلسلة الثوريوم - 232 وتعطي مكافئ جرعة مؤثرة لكافة اعضاء الجسم مقدارها 2.8×10^{-4} سيفرت.

تضيف سلسلة الراديوم - 228 كذلك الى الجرعة الاشعاعية الناتجة من التعرض الداخلي للنويدات المشعة ذات المنشأ الارضي. ان العمر الفيزيائي للراديوم - 228 يعتبر قصيرا نسبيا (5.8 سنة) وان تركيزه في الجسم يأتي بالدرجة الاولى عن طريق تناوله في الغذاء وهو يترسب بصورة خاصة في انسجة العظام.

الجرع الممتصة السنوية الناتجة من الراديوم - 228 تبلغ نحو $10^{-9} \times 3$ غراي والثوريوم - 228 نحو $10^{-7} \times 2$ غراي والاكثينيوم - 228 تبلغ $10^{-7} \times 1.7$ وللراديوم - 224 تبلغ $10^{-6} \times 1.3$ غراي ويعتبر الاستنشاق الطريق الرئيس الذي يتعرض من خلاله البشر للرادون - 220 ونواتج انحلاله القصيرة العمر. ويبلغ مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية الناتجة عن استنشاقه في العراء 0.01 مليسيفرت و 0.4 مليسيفرت للتعرض داخل الابنية.

كما ان التعرض الكلي الناتج من النويدات المشعة ومصادر الاشعاع الطبيعية للأشخاص البالغين الذين يعيشون في مناطق ذات نشاط اشعاعي اعتيادي موضح في الجدول 1.6 حيث يحسب التعرض على شكل مكافئ جرعة مؤثرة (Effective dose equivalents) وذلك لسهولة المقارنة بين مصادر الاشعاع المختلفة.

يبلغ مكافئ الجرعة المؤثرة للتعرض الداخلي ضعفي ذلك للتعرض الخارجي ومن ضمن النويدات المشعة المسببة للتعرض الداخلي نواتج انحلال الرادون - 220 القصيرة العمر التي تسبب نحو 27% والبوتاسيوم - 40 الذي يسبب نحو 11% والبولونيوم - 210 والرصاص - 210 اللذان يسببان 8% اما التعرض الخارجي فان مكافئ الجرعة المؤثرة الناتجة من الاشعة الكونية يزيد قليلا على مكافئ الجرعة الاشعاعية المؤثرة الناتجة من الاشعاع ذي المنشأ الارضي .

2.6 التعرض للاشعاع الطبيعي (المحور تقنياً)

(Technologically modified exposures to natural radiation)

قد لا تستلم الجرعة الاشعاعية الناتجة عن مصادر الاشعاع الطبيعية او انها تزيد نتيجة الفعاليات التي يقوم بها البشر مثل نوع المعيشة والسفر واستخدام الطاقة -

الجدول 1.6 مكافئ الجرعة السنوية المؤثرة المقدرة الناتجة عن مصادر
الاشعاع في المناطق ذات الخلفية الاشعاعية الاعتيادية

مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية (mSv)			المصدر
المجموع	التشعيع الداخلي	التشعيع الخارجي	
			الاشعة الكونية
0.28		0.28	المكونات المؤينة
0.02		0.02	المكونات النيوترونية
			النويدات المتولدة
0.015	0.015		بفعل الاشعة الكونية
			النويدات ذات المنشأ
			الارضى
0.30	0.18	0.12	البوتاسيوم - 40
0.006	0.006		الراديوم - 87
1.04	0.95	0.09	سلسلة اليورانيوم - 238
0.33	0.19	0.14	سلسلة الثوريوم - 232
2.0	1.34	0.65	(المجموع)

المصدر ICRP 39 (1984) 63

1.2.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة من استخدام النواتج العرضية والنفايات

تسبب النواتج العرضية والنفايات الناتجة عن صناعة حامض الفسفوريك المستعملة في البناء تعرضا إشعاعيا كما ان بناية تحوي على مادة الجبس قد تعطي جرعا اضافية لشاغلي البناية مقدارها 10^{-8} غراي في الساعة وتختلف هذه الجرعة حسب كمية الجبس المستعملة في البناية وتركيز الراديوم في الجبس.

وتعطي مادة سلكات الكالسيوم المتخلفة من المعاملة الحرارية لانتاج حامض الفسفوريك جرعا إشعاعية كذلك فيما لو استخدمت في الصناعة والتشييد. لقد وجد ان استعمال هذه المادة في الاسفلت قد ادى الى اعطاء جرعة إشعاعية ناتجة عن التعرض الخارجي لأشعة كاما في الهواء تبلغ 10^{-8} غراي لكل ساعة فوق سطح الارض. اما اذا استعملت هذه المادة في البناء فانه قد وجد انها اعطت جرعة إشعاعية معدلها 0.1 مايكروغراي في الساعة ولقد وصلت الجرعة في بعض البيوت الى 0.5 مايكروغراي في الساعة في حين كان معدل الجرعة الممتصة في البيوت التي لم تستعملها في البناء 0.09 مايكروغراي في الساعة.

كما ان السكن في المناطق التي انتهت منها التعدين الفوسفاتي يضيف كذلك الى الجرعة المتسلمة بصورة طبيعية حيث ان الخلفية الإشعاعية لهذه المناطق تكون عالية ولقد وجد ان الجرعة الممتصة في الهواء في البيوت التي اقيمت في هذه المناطق قد تصل لغاية 0.3 مايكروغراي في الساعة.

2.2.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض داخل الابنية

تسبب النويدات المشعة تعرضا خارجيا للإشعاع داخل الابنية وان هذه النويدات المشعة هي البوتاسيوم - 40 والراديوم - 226 والثوريوم - 232. ان معدل الجرعة المتسلمة يعتمد على تركيز الفعالية لهذه النويدات المشعة بالدرجة الاساس وعلى موقع الشخص في الغرفة وفيما اذا كان السكن في بيت او بشقة في بناية مؤلفة من عدة طوابق او بيت منفرد او شقة منفردة.

وبالإضافة إلى التعرض الخارجي فإن الجرعة الإشعاعية داخل الابنية تنتج كذلك من استنشاق نواتج انحلال الرادون وهو ينتج من التعرض الخارجي لتراكيز الرادون العالية في مواد البناء وفي التربة ولربما عاد كذلك إلى ارتفاع نواتج انحلال الرادون لنفس الأسباب أو لزيادة انبعاث الرادون من التربة أو لزيادة تراكيز الرادون في الماء والغاز الطبيعي .

إن استعمال مواد بناء محتوية على نسب عالية من النويدات المشعة كالپوتاسيوم - 40 والراديوم - 226 والثوريوم - 232 سواء أكانت ذات منشأ طبيعي كنصخور الكرانيت أم منشأ صناعي كالجبس الفوسفاتي وبقايا أحراق الفحم الحجري فأنها سوف تعطي جرعة ممتصة أعلى من معدل الجرعة الاعتيادية بمقدار يتراوح بين $10^{-8} \times 114 - 28$ غراي في الساعة .

ويقابل الزيادة في الجرعة الإشعاعية هذه عامل توهين للتعرض الناتج من الأشعة الكونية فيما يخص السكن داخل الابنية قد لا يؤخذ بنظر الاعتبار في كثير من حسابات الجرعة الإشعاعية المتسلمة في العراق . إن الجرعة المتسلمة في العراق قد تكون أكثر من الجرعة الإشعاعية المتسلمة داخل الابنية وهذا يعتمد بالطبع على مواد البناء المستعملة وطريقة التهوية .

3.2.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعرض المتزايد للأشعة الكونية .

يؤثر الارتفاع على الجرعة الإشعاعية الناتجة من الإشعاع الطبيعي .

إن اختلاف معدل الجرعة الناتجة عن تغير كثافة الفيزر للأشعة الكونية بالارتفاع أو فعالية الشمس يكون مهماً جداً ولهذا فإن المجموعات السكانية التي تعيش في الارتفاعات العالية تستلم جرعة أعلى من الأشعة الكونية من السكان الذين يعيشون على نفس مستوى سطح البحر وتزداد الجرعة السنوية من 0.2 ملي سيفرت إلى 2 ملي سيفرت عند الارتفاع عن مستوى سطح البحر إلى نحو 2000 متر وتختلف الجرعة الإشعاعية الممتصة الناتجة من الأشعة الكونية في قوتها بمقدار الضعف خلال دورة الاحدى عشرة سنة للشمس .

وتتناسب كثافة الفيض بصورة عكسية مع فعالية الشمس .
وتبلغ الجرعة الإشعاعية على مسافة 12 كيلومترا في الجو 4 مايكروسيغرت في الساعة وإذا ما ارتفع الى مسافة 20 كيلومترا فإنه سوف تكون هنالك جرعة إشعاعية إضافية ناتجة عن النجوم الذرية (Nuclear stars) وهي تفاعلات موضعية نووية للإشعة الابتدائية الكونية ذات الطاقات العالية مما يسبب جرعا مقدارها $10^{-6} \times 6$ مايكروغراي في الساعة .
اما مجمل مكافئ الجرعة المؤثرة للإشعة المؤينة والنيوترونات والنجوم النووية يبلغ نحو 13 مايكروسيغرت/ ساعة .
تنخفض الجرعة الممتصة بمقدار 30% بواسطة 50 غرام/ سم³ من المواد ويرجع هذا الانخفاض بالدرجة الاولى الى توهين الالكترونات الساقطة ولهذا فإن الابنية توفر حماية ودروعاً واقية ضد الإشعة الكونية ويكون التدريع اكثر في العمارات العالية المتعددة الشقق من البيوت المفردة السكن .

ركاب الطائرات

تعتمد الجرعة المتسلمة بالدرجة الاولى على ارتفاع الطائرة وبدرجة اقل على خطوط العرض وفعالية الشمس .
ويبلغ معدل الجرعة الممتصة الناتجة من الطيران التجاري 0.34 مايكروغراي في الساعة ويكون مكافئ الجرعة 1.35 مايكروسيغرت في الساعة . وبالرغم من ان الارتفاعات الاعلى تعطي جرعا إشعاعية اعلى الا انه وجد ان الطيران بطائرات اسرع من الصوت يؤدي الى التعرض الى جرعة إشعاعية تقل 70% عن الجرعة الناتجة بطائرات ذات سرعة اقل وذلك بسبب الزمن الاقصر المستغرق في الطيران ان جميع هذه الجرعة قد تكون مسببة بفعل الإشعة الكونية من الكواكب (Galactic cosmic rays) بالإضافة الى ذلك فإن الانفجارات الشمسية قد تضيف الى هذه الجرعة .

رواد الفضاء

عند سفر رواد الفضاء في رحلاتهم فأنهم يتعرضون الى جسيمات الاشعة الكونية الابتدائية (Primary cosmic ray particles) بالإضافة الى الاشعاع العالي الذي في الحزامين الاشعاعيين. لقد وجد ان القياسات خلال درع مقداره 0.7 غرام لكل سنتيمتر مربع قد اعطت جرعا ممتصة قصوى تمر خلال الحزام الداخلي تبلغ 0.22 غراي في الساعة ومن خلال عبور الحزام الخارجي 0.54 غراي لكل ساعة.

ان رحلة فضائية لمدار حول القمر قد تكلف رواد الفضاء جرعا مقدارها $10^{-3} \times 4.7$ غراي خلال 192 ساعة من السفر في الفضاء كما ان رحلة اخرى في الفضاء بمدار حول الارض قد تكلف رواد الفضاء جرعا مقدارها $10^{-3} \times 2.1$ غراي خلال 241 ساعة سفر وهذا ما تم ملاحظته خلال رحلات Apollo الامريكية.

3.6 الجرعة الاشعاعية الناتجة عن التعرض الى بعض السلع الاستهلاكية

يسبب استعمال الساعات المحتوية على المواد المشعة تعرضا مثل التعرض الناتج عن استعمال الراديوم - 226 الذي يكون تعرضاً خارجياً بالدرجة الاولى. ان الجرعة السنوية للانسجة التناسلية تبلغ $10^{-6} \times 1.6$ غراي لكل بكريل للساعات اليدوية. ان توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة OECD تضمنت ان لا تتجاوز الفعالية الكلية للراديوم - 226 بكريل وهذا الحد يوازي جرعة ممتصة الى الانسجة التناسلية التي مقدارها $40 \mu\text{Gy}$ فيما اذا حملت الساعة 16 ساعة في اليوم.

ان الاشخاص الذين يستعملون الساعات المنضدية 8 ساعات في اليوم يتسلمون جرعة اشعاعية للانسجة التناسلية تبلغ $10^{-10} \times 1.6$ غراي لكل بكريل على مسافة مترين في الساعة واذا كانت فعالية الراديوم - 226 التي في

ساعات التوقيت تبلغ 5.5 كيلو بكريل هو الحد الموصى به حيث يعطي جرة للانسجة التناسلية مقدارها $0.1 \mu\text{Gy}$.

ان التريتيوم الذي في الساعات لا يسبب جرعاً خارجية مهمة وذلك للطاقة المنخفضة لاشعة بيتا ولاشعاع الايقاف الناتج عن التريتيوم. ومعدل الجرعة للسنة لوحدة الفعالية في اصباغ التريتيوم من ساعة يدوية تلبس بصورة مستمرة تبلغ $8 \times 10^{-4} \text{GyBq}^{-1}$ وان القيم تتراوح بين 3×10^{-15} الى $8 \times 10^{-14} \text{GyBq}^{-1}$ اما الساعة المنضدية المحتوية على التريتيوم التي يكون التعرض لها 8 ساعات في اليوم معدلا فان معامل الجرعة يكون نحو $3 \times 10^{-15} \text{Gy Bq}^{-1}$ لساعات التوقيت المنضدية. ان الفعالية البالغة 40 MBq تسبب جرعاً لعموم الجسم مقدارها $0.3 \mu\text{Gy}$ للشخص الذي يلبس الساعة اليدوية و $0.1 \mu\text{Gy}$ للشخص الذي يكون قرب الساعة المنضدية المحتوية على التريتيوم.

والاجهزة الزمنية المحتوية على البروميثيوم - 147 لا تسبب خطراً للتشعيع الخارجي حيث يطلق هذا النظير المشع اشعة بيتا النقية وان اقصى طاقة لدقائق بيتا هي 224 Kev وهي تحجز بما يقارب 46mg cm^{-2} وحيث ان التعليمات الدولية (OECD, IAEA) توصي بسمك لا يقل عن 50mg cm^{-2} لتغليف الساعات ولهذا فانه لا يتوقع حدوث تعرض لاشعة بيتا ومع هذا فانه يتوقع حدوث تعرض خارجي قليل راجع الى اشعاع الايقاف ولقد قدرت الجرعة السنوية للانسجة التناسلية 1.4×10^{-7} غراي لكل بكريل. والتقدير المتحفظ البالغ 1.5 MBq للبروميثيوم - 147 الذي في الساعات يعطي جرعا اشعاعية للانسجة التناسلية مقدارها 2×10^{-7} غراي. ان الجرعة السنوية للانسجة التناسلية الناتجة من الساعات المنضدية المطلوبة بالبروميثيوم - 147 تبلغ 2×10^{-7} غراي.

تسبب كواشف الحريق المحتوية على مصادر الامريسيوم - 241 والراديوم - 226 والبلوتونيوم - 238 والكربتون - 85 والنيكل - 63 جرعاً اشعاعية ناتجة عن التعرض الخارجي وهذه الجرعة تنتج من صناعة

وتوزيع واستعمال وردم هذه المصادر او احراقها. ان الجرعة الكلية لعموم الجسم الناتجة عنها تبلغ بهذا 11 man Gy ناتجة معظمها من التعرض الخارجي عند استعمالها.

كما ان استعمال اليورانيوم والثوريوم في المنتجات الاستهلاكية يؤدي الى خطورة الجرعة الجسيمية الناتجة عن نواتج الانحلال المشعة لاشعة بيتا وبصورة عامة فان الجرعة المتسلمة تكون قليلة وذلك لبعد الاجهزة عن متسلمي الجرعة ما عدا بعض الحالات حيث ان بعض العدسات الضوئية تحوي 30% بالوزن من اليورانيوم والثوريوم الذي يسبب جرعا عالية لعدسة العين. ان الجرعة الممتصة في الهواء على سطح العدسة المحتوية على 18% ثوريوم بالوزن مقيسة بواسطة مقياس جرعة الوميض الحرارية تساوي $10^{-5} \times 1$ غراي لكل ساعة.

ان تراكيز اليورانيوم والثوريوم العالية في العدسات الناتج من صناعتها قد حدد من قبل بعض الدول وان هذه الحدود النسبية للعدسات المصنعة يجب ان لا تتجاوز 30 dpm لكل غرام او ما يساوي 0.5 بكريل لكل غرام للنظائر المشعة اكتينيوم-228 والرصاص-212 والرصاص-214. ان هذه الحدود قد تنتج مكافئ جرعة مقدارها 5 mSv لاحدى طبقات القرنية (Corneal germinal layer).

يسبب استخدام اليورانيوم في صناعات الاسنان جرعا للتعرض الخارجي لطبقة الفم الاساسية. واذا كان تركيز كتلة اليورانيوم المستنفد في الخزف هو 0.1% فان الجرعة الممتصة للطبقة الاساسية التي تبعد $30 \mu\text{m}$ من الحد الفاصل تساوي 0.03 Gy في السنة ولما كان مدى اشعة الفا في الانسجة الطرية اقل من $30 \mu\text{m}$ فان معظم الجرعة الممتصة تعود الى اشعة بيتا وعلى هذا الاساس فان مستوى اليورانيوم قد حدد بـ $250 - 300 \mu\text{g}$ لكل غرام من الخزف المستعمل في صناعة الاسنان.

ومن المصادر الاخرى التي تسبب الجرعة الاشعاعية اجهزة التلفزيون حيث قد تعطي جرعا اشعاعية كبيرة. ان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد

أوصت ان لا تتجاوز الجرعة الإشعاعية 0.005 mGy في الساعة على مسافة 5 سنتيمترات من الجهاز.

ان الدراسات في عدد من البلدان قد دلت على ان معدل التعرض على مسافة 5 سنتيمترات من سطح التلفزيون الملون كانت نحو 0.01 mGy في الساعة مما يولد جرعا إشعاعية للانسجة التناسلية مقدارها $10 \mu\text{Gy}$ عند المشاهدة الاعتيادية للتلفزيون.

كما ان استعمال انظمة مراقبة البضائع في المطارات يؤدي الى حدوث تعرض الى الاشعاع. لقد قدرت الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها المسافر نتيجة فحص الاشعة بـ $1.3 \times 10^{-2} \mu\text{Gy}$ لكل رحلة طيران.

4.6 الجرعة الإشعاعية الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية

لقد سبق ان بينا في الفصل الرابع ان خطوات انتاج الطاقة الكهرونووية تشمل التعدين والطحن لخامات اليورانيوم وتحويله الى وقود نووي وهو يشمل عادة تخصيب مكونات اليورانيوم - 235 وتحضير قضبان الوقود النووي وتوليد الطاقة في المفاعلات النووية واستخلاص الوقود ومدورة النظائر المشعة القابلة للانشطار والمخصبة وردم النفايات المشعة وبالإضافة الى ذلك فان مواد الوقود النووي تنتقل بين المنشآت المختلفة في المراحل المتعددة لانتاج الطاقة وقد تشمل كذلك استعمال المفاعلات النووية في البحوث او لانتاج النظائر المشعة. وتعطي النتائج المستحصلة التأثير الكلي لبرامج الطاقة النووية وهي لا تمثل موقعا معينا لمنشأة نووية وفي حالة محاولة التطبيق على اي موقع فأنه يجب الاخذ بنظر الاعتبار طرائق الانتقال البيئية والنفايات المشعة المطروحة لذلك الموقع.

ان الفعالية الإشعاعية الاصطناعية في انتاج الطاقة الكهرونووية ناتجة عن تشيع الوقود النووي بالإضافة الى التنشيط النيوتروني لمواد الهيكل

وحاويات الوقود بالإضافة الى وجود بعض النظائر المشعة الطبيعية في مراحل تعدين وطحن اليورانيوم .

كما ان تنظيم طرح النفايات المشعة الى البيئة من المنشآت النووية يؤدي الى تسلم السكان لجرع اشعاعية قليلة مقارنة بالنسبة لجرع الاشعاعية المسموح للتعرض لها التي سوف تناقش في فصل لاحق بما يقلل من احتمال الخطورة فيما يخص الافراد وتقل الجرعة الفردية كلما ابتعد عن مصدر الاشعاع وان الجرعة المتسلمة من قبل الاشخاص تختلف من منشأة نووية الى اخرى وكذلك من منطقة الى اخرى كما ان اضافة الجرعة بعضها الى بعض يؤدي الى تكوين مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة التي يفترض ان تتناسب مع التأثير على الصحة (Health detriment) وعلى هذا الاساس فان من الممكن حساب مثل هذه الجرعة لكل وحدة طاقة كهربائية متولدة لكل مرحلة من مراحل انتاج الطاقة الكهرونووية .

تظهر الجرعة المتجمعة المخصصة (Collective dose commitment) الناتجة عن توليد الطاقة الكهرونووية في اربع مجاميع من السكان وهذه المجاميع هي :

- 1- السكان المعرضون بحكم عملهم في حقول الاشعاع سوف تتم مناقشة هذه المجموعة ضمن الحديث عن التعرض الوظيفي .
- 2- السكان المقيمون في منطقة تشمل بضعة مئات من الكيلو مترات حول موقع المنشأة النووية .
- 3- السكان المقيمون في مناطق تبعد عدة الاف من الكيلو مترات عن المنشأة النووية .

4- عموم سكان العالم .

ان الجرعة المتجمعة المخصصة للسكان المحيطين بالموقع (Local population) وسكان المنطقة (Regional population) تخمن باستعمال النماذج

البيئية التي تم التحدث عنها في الفصل الخامس وذلك لان مستوى الفعالية من المواد المشعة الناتجة (Effluent) عن توليد الطاقة الكهرونيوية قليلة جدا لعامة الناس وللمواد البيئية. ان مراقبة البيئة باجراء القياسات (Monitoring) للفعالية الناتجة عن طرح المواد المشعة (Effluent release) قد تركزت حول السكان المحيطين بالموقع للتأكد من ان العمل يقع ضمن الحدود والضوابط الموضوعية من قبل السلطات المسؤولة.

1.4.6 تعدين وطحن اليورانيوم

- ان الطرائق الرئيسة التي تسبب فيها الفعالية الاشعاعية المطروحة الى البيئة من تعدين وطحن اليورانيوم الجرعة الاشعاعية للسكان هي :
- 1- التعرض الخارجي المباشر الى اشعة كاما من النويدات المشعة التي في الغيمة او تلك المترسبة او على سطح الارض.
 - 2- استنشاق الفعالية الاشعاعية في الرئة وربما اعادة التوزيع الى الاعضاء الاخرى في الجسم.
 - 3- تناول الفعالية الاشعاعية في الاغذية.

نشأ مناخ ومطاحن اليورانيوم عادة في المناطق القليلة السكان وفي مناطق متعددة قاحلة وشبه قاحلة وغير صالحة للزراعة وتكون المناجم حتى في المناطق الكثيرة الامطار نائية وبذلك تكون الزراعة قليلة كذلك وبالإضافة الى ذلك فإن الفعالية المطروحة الى البيئة المائية تكون ضئيلة جدا ولهذا فإن الجرعة الاشعاعية تنتج بالدرجة الاولى من المواد المشعة المحمولة جواً. اما في المناطق التي يكثر فيها المطر فإن الجرعة الاشعاعية للسكان في المواد المشعة السائلة تأتي بالدرجة الاولى من الراديوم - 226 في مياه الشرب ومن الاحياء المائية المستعملة للغذاء. لقد وجد في احدى الدراسات ان الجرعة الاشعاعية الناتجة من شرب الماء الحاوي على الراديوم - 226 لم تتجاوز 80 مايكروسيغرت في السنة وهي تقل بصورة عامة عن الجرعة المتجمعة الناتجة من طرح النفايات في الجو.

ويبلغ المجموع الكلي لمكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة المعدلة من عمليات التعدين والطحن $6 \times 10^{-1} \text{ man Sv}$ لكل $[\text{GW(e)a}]^{-1}$ ويعود نحو 93% منها الى عمليات التعدين كما ان الجرعة المقدرة لغالبية السكان المعرضين تعتمد بالدرجة الاولى على خواص موقع المنجم او الطاحونة. ان مكافئ الجرعة المؤثرة يتراوح بين بضع مئات من مايكروسييفرت في السنة لعدة مليسييفرت في السنة التي قدرت لطرح المواد المشعة الاعتيادي من المناجم والمطاحن.

اما فعالية الثوريوم - 230 في اكوام البقايا فانها سوف تكون مصدرا لانطلاق الرادون كما ان معدل الانبعاث للرادون - 222 قد يعطي جرعا متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها 2800 man Sv اضافي لكل $[\text{GW(e)a}]^{-1}$ على افتراض ان الانطلاق مستمر على نفس المعدل لمدة $10^4 \times 1.1$ سنة. ان الجرعة الاشعاعية المخصصة المؤثرة المتجمعة الناتجة من الرادون لالف سنة من الاطلاق هي 28 man Sv لكل $[\text{GW(e)a}]$

2.4.6 تصنيع الوقود النووي

يُعزى التعرض الى الاشعاع والجرعة الاشعاعية الناتجة من النفايات المشعة السائلة المتكونة من عملية تصنيع الوقود في بعض الدول بالدرجة الاولى الى التعرض الخارجي نتيجة المترسبات على ضفاف النهر قرب المعمل ويكون مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة السنوية قد قدر بأنه اقل من $1 \times 10^{-3} \text{ man Sv}$ ويكون اكثر الافراد تعرضا نتيجة طرح النفايات المشعة السائلة في المياه العذبة مساويا لجرعة اقل من 10% من الجرعة المتسلمة نتيجة طرح الغازات. لقد قدر مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة بنحو $10^{-7} \times 3$ رجل سيفرت لكل $[\text{MW(e)a}]^{-1}$ الى السكان المعرضين الى الوسط المائي للنهر وهناك اختلاقات كبيرة جدا في سلوك النفايات المشعة المطلقة الى البيئة المائية ولهذا فان الجرعة المتراكمة المخصصة المحسوبة تعطي فكرة فقط ويحتمل ان يكون

الطريق الرئيس لتعرض السكان الناتج عن تحويل وصناعة الوقود النووي يأتي عن طريق الطرح الى الجو. ان مواقع بعض منشآت تصنيع الوقود تؤدي الى ان تعرض السكان يتبع طريقا ناتجا عن الاستنشاق المباشر. ان الجرعة الممتصة المخصصة الناتجة عن تناول الاغذية تقل بمعامل مقداره 50 مرة اقل من الجرعة الناتجة عن الاستنشاق.

والخلاصة ان مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن تصنيع وقود اليورانيوم تبلغ $10^{-3} \times 5.1$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ ويكون المصدر الرئيس لهذه الجرعة هو استنشاق نظائر اليورانيوم. اما طرح الرادون فانه يمثل 10% فقط من هذا المجموع وهو قليل بالمقارنة بالجرعة الناتجة من الرادون الناتج من تعدين وطحن اليورانيوم. لقد اشارت بعض الدراسات الى ان الجزء الاكثر تعرضا من السكان هم السكان الذين يتعرضون الى المترسبات على ضفاف الانهار قرب المواقع وان بعض السكان يحتمل ان يتسلموا جرعا مقدارها $10^{-3} \times 1$ سيفرت ولكن هذا النوع من التعرض يسبب جزءاً قليلاً من الجرعة المتجمعة الكلية.

3.4.6 تشغيل المحطات الكهرونووية (المفاعلات)

هنالك كثير من الدراسات التي اجريت حول تلوث البيئة بفعل تشغيل المفاعلات وقد دلت النتائج المستحصلة على ان من الصعب تحسس تلوث البيئة الاشعاعي بعيدا عن هذه المفاعلات. ان تقدير الجرعة الاشعاعية للسكان يعتمد على نماذج لنظم انتقال المواد المشعة ولاهمية المفاعلات وانتشار استعمالها سواء لتوليد الطاقة او للبحوث فاننا سوف نتناولها بالتفصيل في هذا الفصل.

يؤدي تشغيل المفاعلات الى اطلاق مجاميع في النويدات المشعة الى البيئة ومن هذه المجاميع.

غازات الانشطار النبيلة

يتم تعرض السكان الناتج عن طرح الغازات النبيلة عن طريق التعرض الخارجي الى اشعة كاما واشعة بيتا كما ان مساهمة كل غاز من الغازات المشعة النبيلة في المجموع الكلي للجرح يختلف حسب نوع المفاعل وعلى سبيل المثال يكون مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة من مفاعل PWR $10^{-2} \times 3.8$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يعطي النظر المشع الزنون - 133 نحو 79% من الجرعة ويكون الزنون - 135 مسؤولا عن نحو 12% منها بينما تكون مساهمة الكربتون - 88 نحو 4% اما مفاعلات BWR فان مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة الناتجة من التعرض الى الغازات النبيلة المطلقة الى الجو يقدر بـ $10^{-2} \times 1.8$ رجل - سيفرت. ان النظر المشع الرئيس المساهم في هذا التعرض هو الكربتون - 88 الذي يساهم بخمسين بالمائة في حين تكون مساهمة النظائر الزنون - 135 والزنون - 138 والكربتون - 88 والزنون - 133 21% و 14% و 7% و 5% على التوالي.

غازات التنشيط

يتعلق الاهتمام الرئيس بغاز الاركون المشع - 41 وبسبب عمر النصف القصير له (1.83 ساعة) فانه يسبب تعرض السكان القاطنين على مسافة بضع عشرات من الكيلومترات من الموقع. تنتج المفاعلات المبردة بالغاز GCR هذا الغاز. ان الجرعة المفعلة الموزونة المخصصة (Weighed normalized dose commitment) معدلا لعدة سنوات يبلغ $10^{-2} \times 9.6$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ كما ان الكبريت المشع - 35 الذي يطلق من مفاعلات GCR يسبب جرعة اشعاعية نتيجة تساقطه ودخوله الى الحليب الذي هو الطريق الاساسي لتعرض السكان عند تناولهم للحليب الملوث وتبلغ الجرعة الناتجة $10^{-2} \times 3.8$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$

التريتيوم

يكون انتقال التريتيوم بين الجو والبيئة الارضية معقداً وذلك لدورة الهايدوجين في الانظمة الحيوية ويساهم التريتيوم المطلق الى البيئة في الجرعة المتجمعة المخصصة لانه ينتشر عالمياً ويسبب التريتيوم التعرض بغدة طرائق هي الاستنشاق او عن طريق الامتصاص من الجلد او بواسطة شرب الماء او تناول الماء مع الاغذية.

ان الجرعة المخصصة للسكان الناتجة عن تعرض عموم الجسم وكذلك المسببة من تناول واستنشاق التريتيوم تقدر بـ $10^{-2} \times 3.5$ رجل - سيفرت و $10^{-2} \times 8.1$ رجل - سيفرت و $10^{-3} \times 1.1$ رجل - سيفرت و 7.9 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات HWR, GCR, PWR, BWR على التوالي.

ويكون التناول عن طريق الجهاز الهضمي على ما يبدو اكثر اهمية اذ يبلغ نحو 6 اضعاف الجرعة الناتجة عن الاستنشاق. اما التريتيوم المطروح الى البيئة المائية فانه يعطي جرعة مؤثرة متجمعة مخصصة مقدارها $10^{-3} \times 1.1$ رجل - غراي لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات BWR و $10^{-3} \times 3.1$ رجل - غراي لمفاعلات PWR و 0.34 رجل - غراي لمفاعلات HWR

الكاربون - 14

وتمثل الجرعة المتجمعة للسكان الناتجة من اطلاق الكاربون - 14 من المفاعلات جزءاً صغيراً فقط من مجموع الجرعة المخصصة. وتأتي الاهمية الرئيسة للكاربون - 14 من خلال دخوله الى دورة الكاربون (Carbon cycle) الذي ينتج عنها انتشاره عالمياً ومكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الموزونة بتوليد الطاقة الكهربائية يبلغ 2.4 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$

اليود

يكون اطلاق اليود المشع من محطات توليد القوى النووية قليلا لذلك فهو يساهم قليلا في مجموع الجرعة المتجمعة المخصصة للمناطق المحيطة بالمنشآت النووية والمناطق الابعدها. واليود - 129 يدخل الى الدورة العالمية لليود ويشع سكان العالم بصورة ملموسة لعدة ملايين من السنين. اما اطلاق اليود - 131 فانه يساهم فقط في الجرعة الاشعاعية المحلية وللمناطق القريبة ومكافئ الجرعة الاشعاعية المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة من اطلاق اليود من مفاعلات PWR قدرته بـ $10^{-4} \times 6.6$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وان الجرعة المتجمعة للغدة الدرقية هي $10^{-2} \times 2.1$ رجل غراي. ان اكثر مكونات الجرعة الناتجة تأتي عن طريق الاستنشاق وكذلك الجهاز الهضمي حيث تسبب الجرعة نتيجة لتناول الحليب. اما في حالة مفاعلات BWR فان مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة يبلغ $10^{-2} \times 1.9$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وان الجرعة المتجمعة للغدة الدرقية يبلغ $10^{-1} \times 5.9$ رجل - سيفرت. ان الطريق الاساسي للتعرض لليود - 131 واليود - 135 هو التنفس .

الجسيمات

تعتمد كمية الفعالية التي في الجسيمات المطلقة على انواع المفاعلات وعلى المفاعلات نفسها من سنة الى سنة اخرى. وهي اما ان تطلق الى الجو او الى البيئة المائية.

يبلغ مكافئ الجرعة المتجمعة المخصصة لوحدة الطاقة الكهربائية المتولدة الناتجة من مفاعلات PWR $10^{-2} \times 2.1$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ و $10^{-1} \times 2.9$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات BWR

ان اعلى مكافئ جرعة للاعضاء يتسلم من قبل سطح العظام او الغضاريف. اما مفاعلات GCR فانها تشابه مفاعلات PWR وتكون الجرعة لمفاعلات HWR اقل.

ان معظم هذه الجرعة تنشأ عن الجرعة الخارجية وتلك الناتجة عن طريق الجهاز الهضمي ومن الفعالية المتساقطة على الارض. ان المساهمة الكبرى للجرعة الناتجة من المتساقطات على الارض هي السيزيوم - 137 والكوبلت - 60 حيث تعطي نحو 80% وان معظم الجرعة الباقية تأتي من السيزيوم - 134 والمنغنيز - 54. ان توزيع الجسم جرع يكون متساويا على الجسم واعضائه لانه ينتج عن اشعة كاما النفاذة وان 95% من الجرعة المتسلمة تكون خلال الخمسين سنة الاولى بعد السقوط على الارض. ان النويدات المشعة التي تساهم باعطاء الجرعة في محاصيل الحبوب هي السيزيوم - 137 حيث تعطي نحو 30% من الجرعة والسيزيوم - 134 الذي يساهم بـ 30% والكوبلت - 60 الذي يساهم بـ 5% اما الخضروات الخضراء والجذرية فان 80% من الجرعة المخصصة تأتي من السنترونتيوم - 90 والياقي من السيزيوم - 137 ويتساوى السنترونتيوم - 90 ونظائر السيزيوم - 134 والسيزيوم - 137 باعطاء الجرعة المخصصة في لحوم الابقار. اما مفاعلات PWR فان نفس النظائر المشعة وطرائق الانتقال تكون مهمة ويكون مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة يساوي 2.9×10^{-1} man Sv [GW(e)a]⁻¹ وبهذا تصبح النتائج المعدلة لجميع المفاعلات 1.1×10^{-1} man Sv [G[GW](e)a]⁻¹ وتبلغ الجرعة الفردية 10^{-1} سيفرت في السنة لمفاعلات BWR على مسافة 1- كيلومتر واحد وتكون الجرعة الناتجة من مفاعلات PWR اقل من ذلك بعشر مرات.

النفايات المشعة السائلة

يتم اطلاق النويدات المشعة في المياه العذبة عن طريق الانهار او البحيرات عادة كما ان طرائق الانتقال الى البشر تتم عن طريق شرب الماء واكل السمك والسقي الذي يؤدي الى تلوث المواد الغذائية والتعرض

الخارجي الناتج عن الرواسب. اما الطرح في البيئة البحرية فإنه يكفي الاخذ بنظر الاعتبار تناول الاغذية التي تشمل اسماك المحيطات والقشريات وهناك طرائق انتقال اخرى مثل السباحة في المياه الملوثة واستهلاك المواد الغذائية غير الاعتيادية ولكن مساهمة هذه الطرائق تكون قليلة بتكوين الجرعة المتجمعة المخصصة.

ان الجرعة المتجمعة المخصصة للمطروح المعدل الى وسط المياه العذبة لمفاعلات BWR يقدر بـ $10^{-3} \times 2.8$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتؤلف مياه الشرب ثلثي هذه الجرعة ويأتي الباقي من تناول الاسماك. اما شرب الماء فإن 20% من الجرعة المؤثرة المخصصة يأتي من اليود - 131 وان جميع الجرعة الناتجة من الهضم تأتي من نظائر السيزيوم تقريبا اما مفاعلات PWR فإن مجموع مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة هو $10^{-3} \times 1$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يشكل شرب الماء نحو 78% من الجرعة المتجمعة. ان المساهمة من شرب الماء تأتي بصورة متساوية من اليود - 131 والكوبلت - 60 والسيزيوم - 134 والسيزيوم - 137 اما الغذاء فإن نظائر السيزيوم تغطي اكثر من ثلثي مجموع الجرعة المتجمعة المخصصة البالغة $10^{-3} \times 1.8$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ اما مفاعلات BWR فإن الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة تقدر بـ $10^{-3} \times 4.2$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتأتي بالدرجة الاولى من الزنك - 65 الذي في الرخويات اما الباقي فإنه يأتي من السمك حيث يكون السيزيوم كذلك مسؤولا عن معظم الجرعة اضافة الى الزنك - 65.

ان مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الموزونة فيما يخص الطاقة الكهربائية المتولدة لكل نوع من انواع المفاعلات يقدر بـ $10^{-2} \times 3.6$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتبلغ الجرعة الناتجة بسبب الطرح في البيئة المائية $10^{-3} \times 1.9$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$.

4.4.6 استخلاص الوقود النووي لتوليد الطاقة الكهربائية

يتطلب تقدير الجرعة المتجمعة المخصصة الناتجة من منشآت استخلاص الوقود دراسة التأثيرات المحلية للمناطق وكذلك المترتبات العالمية للنفايات المطروحة التي تشمل الكربتون - 88 الذي يسبب مكافئ جرعة مؤثرة متجمعة مخصصة تقدر 0.074 رجل - سيفرت نتيجة التشعيع بأشعة كاما التي في الغيمة وقد يسبب التشعيع بأشعة بيتا من الغيمة جرعا اشعاعية مقدارها 19 رجل - سيفرت اضافية بصفة جرعة متجمعة للجلد وكذلك التريتيوم المطلق الى الجو الذي يؤدي الى جرعة متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها 0.35 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ ويسبب الطرح الى البيئة المائية جرعا مخصصة اقل من ذلك تبلغ $10^{-4} \times 8.2$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$. اما الكاربون - 14 المطلق فان مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة يبلغ نحو 0.69 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ مطلق الى الجو.

5.6 خزن و ردم النفايات المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهربائية والنووية

ان طرح النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي من محطات القوى النووية لم يتم لحد الان حيث انه يوجد خزين مراقب فقط من قبل سلطات البلدان المختلفة بانتظار قرار نهائي بالمعاملة ولهذا فان التقديرات هي توقعات للجرعة المتجمعة المخصصة المحتملة الناتجة عن ردم النفايات العالية النشاط الاشعاعي بالاستناد الى دراسات نظرية حول الطرح الى المياه العذبة والبيئة البحرية.

6.6 المساهمات الاخرى

تساهم الفعاليات الاخرى المتعلقة بانتاج الطاقة الكهرونووية في الجرعة المتجمعة المخصصة الناتجة من استخدام الطاقة النووية وهي نقل الوقود النووي المشع وتشغيل منشآت البحوث النووية.

1.6.6 النقل

من الممكن اجراء الحسابات باستعمال توزيع الجرعة بصفة دالة على المسافة بين حاوية الوقود المشع والكثافة السكانية على طول الطريق المستعمل في النقل وعلى مسافة مقدارها كيلو متر واحد من الطريق.

كما ان تقديرات مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن نقل الوقود المشع تتراوح بين $10^{-3} \times 1$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ الى $10^{-2} \times 1$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وهذا لا يشمل اية مساهمة نتيجة حادثة للحاوية التي قد تؤدي الى تعرض السكان للاشعاع.

2.6.6 منشآت البحوث النووية

تدل الجرعة الاشعاعية لعدد من مراكز البحوث النووية على ان الجرعة المتجمعة تتراوح بين $10^{-3} \times 1$ رجل - سيفرت و 2 رجل - سيفرت في السنة.

ان نحو نصف هذه الجرعة الاشعاعية كان بسبب التريتيوم ونحو ثلثها ينتج من الاركون - 41 وما لا شك فيه ان ذلك يعتمد كثيرا على نوع البحوث الجارية.

والخلاصة ان مساهمة كل حلقة من حلقات انتاج الطاقة الكهرونووية موضحة في الجدول 2.6 الذي يمثل صيغة معدلة لوحدة الكهربائية الناتجة.

كما ان مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة قد ادخلت في الجدول وبهذا

يمكن استخلاص تقديرات الاضرار الصحية باستعمال النماذج الحسابية. ان المواد المشعة المطروحة خلال مراحل التشغيل ما عدا ردم النفايات تعطي مكافئ جرعة مؤثرة متجمعة مخصصة مقدارها $5.4 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$. ان 90% من هذه الجرعة تسلم في السنة التي يتم فيها طرح النفايات المشعة و 98% من الجرعة تسلم خلال 5 سنوات من طرح النفايات المشعة.

الجدول 2.5 مختصر عن مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الى السكان الناتجة عن انتاج الطاقة الكهربائية النووية

مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة

(man Sv [GW(e)a] ⁻¹)		المساهم المحلي وللمناطق
		التعدين
0.56		الرادون
		الطحن
0.12		اليورانيوم والثوريوم والراديوم ما عدا البقايا
0.025		الرادون
0.0005		تصنيع الوقود اليورانيوم
		المطروح من المفاعلات الجو
0.61		الغازات النبيلة
0.51		الترينيوم
0.06		مطارات اليود
2.4		الكاربون - 14
3.7	المجموع	الجسيمات المشعة Cs, Ru, Co
0.1		المائية
		الترينيوم
0.03		الآخري (السيزيوم Ru والكوبلت)
0.05	المجموع	استخلاص الوقود
		الجوية
0.1		ترينيوم
0.03		الكربون - 85
0.2		الكاربون - 14
0.33	المجموع	مطلقات الفا

المصدر UNSCEAR (1982) 127

اما النويدات المشعة الطويلة العمر والتي تنتشر عالميا فان مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة غير الكاملة يعطي دلالة على التوزيع الزمني لهذه الجرعة المخصصة وكذلك من الممكن استعمالها لاشتقاق الحدود السنوية العليا المكافئ الجرعة
(Maximum annual per caput dose equivalents)

بواسطة تقسيم متوسط حجم السكان (Mean population size) بافتراض ان انتاج القوة الكهربائية بواسطة الطاقة النووية يستمر خلال الفترة التكاملية المختارة وان معدلات المواد المشعة المطروحة تبقى ثابتة .
يكون مكافئ الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن الانتشار العالمي للمواد النووية المطروحة خلال عمليات توليد الطاقة هو 770 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يعطي 90% منها في فترات زمنية تتراوح بين $10^4 \times 1$ سنة الى $10^6 \times 1$ سنة بعد الطرح . كما ان القيمة غير الكاملة لخمسةائة سنة التي تؤخذ على انها الفترة الزمنية التي يستمر فيها انتاج الطاقة الكهربائية من قوة الانشطار هي $18 \text{ man Sv} [GW(e)a]^{-1}$ واذا استعمل هذا الرقم لاشتقاق الجرعة الى شخص نظري مفترض (Per caput dose) فانه يكون مقاربا الى القيمة المستحصلة من الجرعة المخصصة المحلية وللمناطق . ان محاولة تخمين الجرعة الاشعاعية المستقبلية يجب ان تتم بحذر حيث ان الاتجاه السائد الان والذي بدأ منذ بضع سنوات مضت هو تخفيض المواد المشعة المطروحة من المفاعلات على الرغم من القوة الكهربائية الناتجة للمحطات الذي يرجع بالدرجة الاولى الى تحسين تقنية السيطرة من ناحية والى استنباط افكار جديدة في الوقاية من الاشعاع .

والجرعة المتجمعة الناتجة من الانتشار العالمي للنويدات المشعة قد لا تكون ممثلة للحالة المستقبلية . مثال على ذلك في المفاعل النموذج ومنشآت استخلاص الوقود المفروضة في هذا الكتاب قد فرضت على ان النويدات المشعة الطويلة العمر كالكربتون - 85 والكاربون - 14: تطلق الى الجو دون معاملة بينما الاتجاه الحالي الان هو حصرهم في حاويات او ايقاف حركتهم

(immobilization) وأخيراً فإنه عند تحديد المقياس إلى آلاف وملايين السنين في المستقبل فإنه يصعب جداً تقدير حجم السكان وطرائق تغذيتهم والعادات الأخرى بحيث أن تقدير الجرعة المتجمعة المخصصة العالمية يجب أن يعتبر تصورياً إلى درجة كبيرة. أن النتائج العالمية تدل على أن أكثر مساهم إلى الجرعة المتجمعة المؤثرة المخصصة هو بقايا التعدين والطحن لليورانيوم. أن الجرعة المخصصة غير الكاملة تكون أقل بالمقارنة وتعتمد بصورة كاملة على كمية المادة المغطاة للبقايا المفروضة وعلى الزمن الذي يسبق انتقالها إما إلى الأسفل في الأرض بحيث تصبح غير متوفرة أو أن تتآكل وتذهب إلى البيئة المائية. كما أن البقايا إذا استعملت في صنع الأسفلت والـ PVC فإنها سوف تصبح غير قابلة للحركة ومن الممكن خفض كمية الرادون المنبعثة إلى المستويات الطبيعية بحيث تكون إضافتها إلى الجرعة المخصصة مساوية للصفر وينفس الوقت فإن حركة الثريوم واليورانيوم إلى داخل الأرض بسرعة متر واحد في 500 سنة سوف يؤدي إلى جرعة مخصصة مقدارها $30 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$

وبالافتراض أن البقايا تتآكل وتذهب إلى البيئة المائية فإن ذلك يؤدي إلى

مكافئ جرعة متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها $460 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$ ويكون البولونيوم - 210 76% منها وتعتمد النتائج على خواص الموقع المحلية إلى درجة كبيرة وأن الرقم المعطى هنا يكون مشكوكاً فيه بمقدار عشرة أضعاف الكمية وأخيراً فإنه يجب معرفة بأن أي قرار لاستعمال مفاعلات التوليد السريع باستغلال مصادر اليورانيوم بصورة أكفاً سوف يؤدي إلى خفض الجرعة المتجمعة المخصصة لكل GW(e)a من بقايا اليورانيوم بمرتين للقيمة ولغرض تقدير الجرعة العظمى للفرد المفترض (Maximum per caput) في المستقبل نتيجة إنتاج الطاقة الكهرونووية فإن الجرعة المتجمعة المخصصة غير الكاملة يجب أن تستعمل.

كما أن المواد المشعة المطروحة خلال فترة التشغيل لمنشآت توليد الطاقة

الكهرونووية تؤدي إلى جرعة مخصصة محلية وللمناطق مقدارها $5.4 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$

حيث يتسبب 98% منها خلال السنوات القليلة التي تلي

طرحها اما الاثنان بالمائة الباقية من الجرعة المخصصة فانها تتسلم خلال عقدين او ثلاثة عقود بعد طرح المواد المشعة. وتبلغ الجرعة المتجمعة المخصصة غير الكاملة للنويدات المشعة التي تنتشر عالميا $18 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$. ان اختيار فترة الـ 500 سنة هنا يتعلق بالفترة الزمنية التي يستمر انتاج الطاقة فيها حيث ان هذه القيمة هي متوسط الفترة التي تنتج فيها الطاقة بواسطة مفاعلات الانشطار لغرض تقدير الجرعة القصوى للأفراد يدل بصورة اساسية على استعمال مفاعلات الانتاج السريع

وتبلغ الجرعة المتجمعة المخصصة غير الكاملة للتعدين والطحن استنادا الى الخسبوه $2.5 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$ لمائة سنة وهي اكثر ملائمة لتقدير الجرعة القصوى الفردية حيث ان معدل التعدين سوف ينخفض باستعمال مفاعلات الانتاج السريع اما بقايا الطحن فإن الجرعة المخصصة لفترة 100 سنة تعكس فقط طرح الرادون مما يعطي جرعا لا تتجاوز 2.8 man Sv وبهذا فان الجرعة الفردية القصوى الناتجة عن توليد الطاقة الكهرونووية سوف تكون نحو 26 man Sv وعند تقسيم هذه الجرعة على عدد سكان العالم الذي يفترض انه $10^{10} \times 1$ شخص فانه ينتج 2.6×10^{-9} سيفرت في السنة لكل GW من الطاقة الكهربائية الناتجة وعلى فرض ان انتاج الطاقة النووية سوف يستمر لمدة 500 سنة وان المواد المشعة المطروحة الى البيئة تبقى كما هي عليه الان.

وتكون الجرعة المتجمعة المخصصة الناتجة من بقايا المناجم ومن ردم النفايات المشعة وكذلك تلك الجرعة الناتجة من الانتشار العالمي للنويدات المشعة ذات العمر الطويل مثل الكاربون - 14 واليود - 129 مشكوكا فيها بالضرورة لصعوبة التنبؤ بالطرائق المستقبلية وحجم السكان وعاداتهم وطرائق الانتقال البيئية وعلى التمثيل في جسم الانسان وفي الوقت الحاضر فان التقدير يكون $4 \times 10^3 \text{ man Sv [GW(e)a]}^{-1}$ يتسلم بالدرجة الاولى من فترة زمنية تبدأ بعد $10^4 \times 1$ سنة من الان.

محمد بن يوسف الكوفي

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل السابع

التعرض المهني للاشعاع

Occupational Exposure to Radiation

هنا يوسف الدويهي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل السابع

التعرض المهني للاشعاع

في الفصل السادس تعرضنا الى الاشعاع والجرع الاشعاعية الناتجة عن تعرض السكان الى مصادر الاشعاع المختلفة وان هذا الفصل سوف يتناول تعرض العاملين في حقول الاشعاع الذين يكون تعرضهم نتيجة الاعمال التي يقومون بها.

ان الغرض الاساسي من دراسة التعرض الوظيفي للاشعاع هو تنظيم طريقة حساب تراكم الجرعة للأفراد. وان المعلومات تستعمل كذلك للدلالة على اتباع حدود التعرض المهني. ان المعلومات المستقاة قد تستعمل لعدة اغراض منها الى اية درجة خفضت الجرعة للوصول الى اقل جرعة ممكنة منطقياً (As Low as reasonably achievable)

ان تقدير الجرعة المتجمعة السنوية والجرع المتجمعة جراء عمل معين قد يعطي دلالة على الاضرار الصحية الناتجة عن الاشعاع لكل ممارسة او عمل معين. كما انه من الممكن استخدام المعلومات لغرض المقارنة مثلاً لمساهمة لزروع الصناعة في مجموع الاضرار الصحية الناتجة عن الاشعاع (Radiation induced detriments) ويؤدي تقدير متوسط مستوى الجرعة لكل نوع من انواع العمل وللمجاميع الثانوية من العاملين الى تقدير مستوى الخطورة بالاضافة الى ان توزيع الجرعة على القوى العاملة في حقول الاشعاع يؤدي الى مقارنة هذا المستوى للأفراد جراء العمل في حقول الاشعاع المختلفة بالاضافة الى مقارنة ذلك للمهن التي لا يحدث فيها تعرض للاشعاع.

ومن الممكن استعمال معلومات مستحصلة من عدة سنوات لمعرفة متوسط الجرعة وتوزيع الجرعة والجرع المتجمعة من الصناعات الكاملة او طرائق العمل الكاملة او اجزاء منها ومن الممكن استخدام المعلومات الناتجة للإشارة الى ما اذا كان اتجاه الجرعة له علاقة مع الزمن او عمر المنشأة ومع التغييرات التقنية للمنشأة او العمل او في ادارة العاملين او بتوسيع العمل او لاية اسباب اخرى.

كما انه من الممكن استخدام التعرض الوظيفي بصفة معلومات داخلية (input) لاجراء الدراسات حول نشوء الامراض (Epidemiological studies)

1.7 تحليل الجرعة المهنية

(Analysis of occupational doses)

من الضروري تثبيت العلاقة بين القياسات التي تجري في مجال الاشعاع بواسطة افلام قياس مستوى الاشعاع او عدادات الوميض الحرارية وبقيّة اجهزة قياس الجرعة الاشعاعية الشخصية والجرع الممتصة في انسجة واعضاء الجسم وتستعمل لذلك ثوابت معقولة مع اشعة كاما والاشعة السينية عالية الطاقة التي لا تكون محجوزة بدرع نسبي وذلك لانها لا تعطي جرعا ممتصة متغيرة خلال الجسم اما المجالات الاشعاعية الفراغية المتغيرة (Spatially variable radiation fields) مثل توفر الحماية الجزئية والاختلافات الكبيرة جدا في مسافات اعضاء الجسم عن المصدر والحالات المماثلة الاخرى فان العلاقة تكون اكثر تعقيدا وهناك مشاكل خاصة لكل تعرض كوضعية الجسم بالنسبة للمصدر.

ان السيطرة على الجرعة الفردية يتطلب معرفة مكافئ الجرعة المؤثرة الذي يجب ان يحصل عليه بتقدير الجرعة الاشعاعية للاعضاء والانسجة المفردة وان هذا الامر لا يتم عادة لعدم توفر المعلومات الكافية عن خواص المجال الاشعاعي. ان حاملات المراقبة (Monitoring badges) لا تصمم عادة لتوفير معلومات اساسية مثل طاقة ونوع الاشعاع وهي المعلومات التي يتم بواسطتها حساب الجرعة العميقة (Depth dose calculations) وفي حالة التعرض غير المنتظم للجسم فانه نادرا ما تكون هناك معلومات كافية من اجهزة المراقبة للدلالة على المقدار الفراغي (Spatial extent) وتنوع المجال الاشعاعي بدرجة جيدة لغرض تقدير الجرعة للاعضاء وللانسجة. ان هذه الدراسات تتم عادة باستخدام الاجسام الشبيهة (Phantoms) التي تعرض باوضاع مختلفة الى طاقات متعددة من الاشعاع وبحسب منها جرعة الاعضاء ومكافئ الجرعة المؤثرة.

ان مقاييس الاشعاع تدل بصورة عامة على الجرعة المتصصة على سطح الجسم اي على معدلها على عمق قليل تحت الطبقة السطحية الخفيفة بالاضافة الى دلالتها على الجرعة المتصصة على مسافة عميقة من النسيج . ان هاتين الجرعتين المقيستين تفسر عادة على انها جرعة الجلد (Skin dose) وجرعة عموم الجسم (Whole body dose).

تستعمل في بعض الاحيان مقاييس اشعاعية لغرض معين كمقياس الجرعة لاطراف الاصابع والايدي والاقدام . ان هذه النتائج تلاحظ عادة في سجلات الجرعة الشخصية وربما تستعمل للمقارنة مع الحدود الموضوعة لتعرض الاطراف . ان الجرعة النيوترونية يجري تسجيلها بواسطة حاملات خاصة مختلفة الانواع وتلائم بصورة عامة طيف طاقة النيوترونات الذي يتعرض له .

ان مستويات التلوث الداخلي لبعض النويدات المشعة يمكن حسابه باستعمال المراقبة البايولوجية (Biological monitoring) ومثال على ذلك التريتيوم بينما يكون ذلك من الصعب جدا لنويدات مشعة اخرى مثل البلوتونيوم - 239 وخاصة بعد وقت طويل من دخولها الجسم او عند دخولها الى الجسم عدة مرات .

لقد كانت هذه الحسابات تجري بالنسبة للتلوث الداخلي بوصفها جزءاً من الحد الاعلى الذي يتحمله الجسم (Maximum permissible body burden) ولقد كانت نتائج المراقبة توضح بهذا المصطلح وعندما غيرت الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع (ICRP) المصطلح الى الحدود السنوية للتناول فانه من المحتمل ان يكون هناك تغيير مواز لمحاولة تقدير ونشر تقارير حول المتناول سنويا والجرعة المخصصة .

ان احدى الصعوبات عند تجميع المعلومات الاحصائية هي ان مستويات التلوث الداخلي المنشورة تكون مختلفة بصورة واسعة .

ان جميع الارقام للنتائج المنشورة لخدمات المراقبة تمثل معدل الجرعة الممتصة (Averaged absorbed dose) في عموم الجسم والتي تكاد تمثل دائما القراءات المأخوذة بواسطة مقاييس الاشعاع دون الاخذ بنظر الاعتبار علاقتها بالجرع الممتصة في الجسم.

ان هذا الاجراء يعد لحد الان مقبولا حيث ان معظم المعلومات المنشورة تتعلق بالتعرض الخارجي لعموم الجسم الى الاشعة المؤينة ذات الطاقة العالية وفي الحالات التي لا يكون فيها تعرض الجسم الى الاشعاع منتظما وخاصة في المهن الطبية فانه قد يكون مضللا ايجاد متوسط الجرعة لعدة انواع من العمل حيث ان العلاقة بين قراءة مقياس الجرعة ومتوسط الجرعة الممتصة لعموم الجسم سوف لا تكون ثابتة.

1.1.7 طريقة المراقبة وتسجيل الجرعة

ان عدد العاملين المعرضين الى مستويات مختلفة من المراقبة هو انعكاس لقرارات ادارة المنشأة النووية والجهات المراقبة لتنفيذ التعليمات حول احتمالية التعرض الى مستويات مختلفة ولهذا فانها لا تكون متماثلة في صناعة معينة او بلد معين.

ان وصايا الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع تنص على انه عندما تكون احتمالية تجاوز الجرعة السنوية لثلاثة اعشار الجرعة القصوى المسموح بها ضئيلة جدا فانه ليس من الضروري القيام بالمراقبة الفردية (Individual monitoring) بالرغم من ان هذه المراقبة الفردية تجري في بعض الاحيان بوصفها طريقة تثبت ان ظروف العمل مرضية ومع ذلك فان السهولة النسبية في اجراء المراقبة او الكلفة القليلة وحساسية الاداة لمراقبة التعرض الخارجي للاشعاع يجعلها تستعمل بصورة اوسع كثيرا عما هو متوقع نتيجة تطبيق توصية

الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع . وعندما يتم تجهيز هذه الاداة (افلام قياس مستوى الاشعاع) فان الجرعة الناتجة تسجيل بالرغم من ان توصية الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) تنص على ان مستوى التسجيل هو 1/10 من حدود الجرعة القصوى السنوية.

هنالك بعض التضارب في معاملة الاشعاع الداخلي والخارجي الذي ربما يكون بسبب ان مراقبة التشعيع الداخلي يكون عالي الكلفة وغير حساس وبهذا يلجأ اليه في الحالات التي تكون هناك حاجة فعلية واضحة له . ان الجرعة الداخلية غالباً ما تقدر بصورة غير مباشرة بواسطة مراقبة تركيز الفعالية في الهواء ولكن نتيجة هذه المراقبة لا يتم نقلها دائماً الى السجلات الفردية للجرعة . وهنالك صعوبات تتعلق بتحديد عدد العاملين مما يؤدي الى فروقات في متوسط الجرعة الموثقة ومن الواجب ايضاح ما اذا كانت المعلومات تشمل جميع العاملين الخاضعين للمراقبة وفي حالة اختيار بعض العاملين فقط للمراقبة عندئذ يجب تثبيت السبب في اختيارهم للمراقبة وكيفية القيام بعملية تقدير الجرعة للعاملين غير المراقبين .

ان من المفروض طرح الخلفية الطبيعية للاشعاع من النتائج الموثقة وان الجرعة الطبية غير مشمولة في النتائج وهنالك بعض الاختلافات في اساليب توثيق قراءات مقاييس الاشعاع . اذ ان من الممكن ادخال القراءات الواطئة كاصفار او الحدود الدنيا .

الجرعة المفترضة (Notional doses)

عندما تفقد مقاييس الجرعة او تكون قراءاتها غير متوفرة فان طريقة مقبولة للخضوع لمتطلبات الاحكام والقانون في عدد من الدول هي الافتراض ان الاشخاص قد تعرضوا الى الحدود القصوى للجرعة المسموح بها خلال الفترة التي فقدت فيها النتائج ومع هذا فان هذا الاسلوب يؤدي الى تحريف السجلات وخاصة في حالة ضياع عدد كبير من مقاييس الجرعة والذي يضم

مجموعة مهنية معينة ولهذا فانه من الضروري جدا توثيق الجرعة والاشارة الى الجرعة النظرية المقررة. ان الاسلوب المتبع هو الرجوع الى الجرعة المحسوبة من متوسط الجرعة لبقية السنة لكل فرد وتسجيل الجرعة بهذه الطريقة.

3.1.7 خواص توزيع الجرعة

لا يعتبر توزيع الجرعة من الظواهر الطبيعية ولكنها تكون نتيجة لعدد من العوائق المفروضة بواسطة طبيعة العمل نفسه او بادارة المنشأة او بالعاملين في حقول الاشعاع او بالتشريعات وفي بعض انواع الاعمال فانه قد لا يكون ضروريا للعاملين تسلم اكثر من جرعة اشعاعية واطئة جدا وفي بعض الاعمال فان العاملين يتعرضون الى جرعة اشعاعية عالية بصورة شبه روتينية وهذه المجموعة فان الادارة تستطيع تخفيض الجرعة في بعض الاحيان بقرار منها ولكن ما لم تغير نوعية العمل او ظروفه فان عددا اكثر من العاملين سوف يلزم للقيام بالعمل وبذلك تزداد الجرعة المتجمعة بصورة عامة.
من الممكن وصف توزيع الجرعة بثلاث ظرائق هي :

متوسط الجرعة السنوية (Annual average dose)

ويرمز لها D- وهي ذات علاقة بالمستوى العام للخطورة الفردية وتحسب هذه الكمية لجميع الافراد الذين روقبوا لمجموعة مهنية معينة.

الجرعة المتجمعة السنوية (Annual Collective dose)

ويرمز لها بالحرف G. وهي تتعلق بالتأثير الكلي للممارسة (Total im-

pact)

نسبة الجرعة السنوية المتسلمة

ويرمز لها بالحرف GR وهي الجرعة الفردية السنوية التي تتجاوز 15 ملغراي وتكون لها علاقة بنسبة العاملين المعرضين الى مستويات اعلى للخطورة الفردية ومن الممكن الحصول على الخواص لاي شكل من اشكال توزيع الجرعة فيما اذا كانت تتمتع باستجابة لوغاريتم - اعتيادي ام لم تكن كذلك في بعض اجزاء مجال الجرعة. ان هذه الخواص يحصل عليها من المعلومات الاساسية المفصلة لنتائج مقياس الجرعة وتكون من ضمن التقارير الموثقة كلما كان ذلك ممكناً.

ان الجرعة المتجمعة السنوية G تعرف بالمعادلة

$$G = \sum_{i=1}^N D_i \quad \text{..... (7.1)}$$

حيث تمثل N العدد الكلي للعاملين و D_i هي الجرعة الممتصة السنوية المتسلمة من قبل العامل i (ith worker) في الممارسة وهي تحسب غالباً من نتائج مقياس الجرعة المقارنة (Collated dosimetry) باستعمال المعادلة المرافدة

$$G = \sum_{i=0}^{\infty} N_i \bar{D}_i \quad \text{..... (7.2)}$$

حيث تمثل N_i عدد الافراد في المجال ith من الجرعة الممتصة التي يكون متوسطها السنوي \bar{D}_i . ان عدد المجالات يجب ان يكون كافياً للتأكد من ان قيمة \bar{D}_i تمثل المعدل بصورة معقولة. وفي بعض الظروف ولانه بصورة عامة يكون انحرافاً باتجاه الجرعة الواطئة فيكون استعمال مثل هذه المعادلة مؤدياً الى المبالغة في التقدير للجرعة المتجمعة. ان المبالغة في التقدير لمجال جرعة مثالي تكون اقل من 10%

ان متوسط الجرعة الممتصة السنوية \bar{D} يعطي بالمعادلة

$$\bar{D} = \frac{G}{N} \quad \text{..... (7.3)}$$

حيث يمثل N عدد العاملين الذين خضعوا للمراقبة.
 ان نسبة توزيع الجرعة المتجمعة السنوية GR يعرف بالمعادلة

$$GR = \frac{G(.715)}{G} \dots\dots\dots (7.14)$$

حيث يكون G (715) الجرعة الممتصة المتجمعة السنوية المتسلمة
 بجرع فردية سنوية تتجاوز 15 mGy ان هذه الكمية يجب ان تحسب اذا كان
 ذلك ممكنا من جمع الجرعة الفردية.

ان المجال الاعتيادي (Normal range) المعطى الذي يكون بعض
 توزيع الجرعة اعلى منه او اقل منه من الممكن ان يستعمل في القرارات المتعلقة
 باستعمال مقاييس الجرعة او اسباب التعرض. ان المجالات الاعتيادية المستعملة
 هنا هي تراوح الجرعة الممتصة السنوية (\bar{D}) من واحد الى 10 mGy وان
 نسبة توزيع الجرعة المتجمعة السنوية (GR) تتراوح بين 0.05 الى 0.5
 ملغراي (mGy)

4.1.7 التوزيع المصدري (Reference distribution)

ان خواص التوزيع المصدري هي الاتي:

- 1 - ان توزيع الجرعة السنوية يكون لوغاريتمياً - اعتيادياً .
- 2 - ان متوسط توزيع الجرعة السنوية يبلغ 5 mGy .
- 3 - ان نسبة العاملين الذين يتجاوزون الجرعة السنوية التي مقدارها
 50 mGy يبلغ 0.1% .

ان التوزيع المصدري هنا لا يمثل غاية يراد ادراكها ولا هو بالتوزيع
 المثالي للجرع ولا يجب ان يفسر كذلك. ان هذا التوزيع قد اعطي فقط لكي
 يكون اساسا لعملية المقارنة حيث ان المعاملات الداخلة فيه هي معاملات
 اصطناعية (Artifact) . ان هذا التوزيع المصدري اضافة الى المجال الملاحظ
 للتوزيع يستعمل لغرض الحصول على مجال طبيعي للمعاملات التي تهتمنا في

توزيع الجرعة. ان احد هذه المعاملات وهو نسبة الجرعة المتجمعة المتسلمة بجرعة سنوية فردية مقدارها 15. mGy قد جرى تعديله فيما يخص التوزيع المصدري.

وقد يحدث هناك بعض الخطأ في عملية التعديل (Normalization Procedure)

5.1.7 توقعات الجرعة لكل العمر

(Lifetime dose predictions)

ان من الممكن تمديد القياس لغرض توقع جرعة العمر لبعض المجاميع من العاملين الذين تتوفر معلومات حول متوسط الجرعة لهم وعدد سنوات خدمتهم. ان من الممكن اجراء بعض الدراسات حول العلاقة بين سرعة تراكم الجرعة اثناء سنوات الخدمة للأشخاص وبين مجموع الجرعة المتسلمة في الخدمة. ان هذه الدراسات تتطلب مراعاة ما اذا كانت الجرعة العالية تتسلم بصورة عشوائية خلال مجموعة من العاملين او بصورة مستمرة لنفس الأشخاص في كل سنة. وما اذا كان للعاملين خاصية البقاء في المهن ذات الجرعة الاشعاعية العالية لفترات طويلة او انهم يتحولون الى مهن بجرعة اقل بتقدم العمر او ما اذا كان العكس يحدث ولعله من المفيد كذلك دراسة العلاقة بين المتوقع المستند الى السجلات للسنوات الماضية باستعمال فرضيات متعددة ومجاميع جرعة مختلفة.

ان هذه الجرعة حسب طبيعتها تتعامل مع جرعة فعلية الى الأشخاص وهذه تجري فقط من قبل المسؤولين الذين يستطيعون الوصول الى سجلات الجرعة الفردية. ان مثل هذا النوع من الدراسات يجب ان يشجع مع الاخذ بنظر الاعتبار الحفاظ على خصوصية سجلات الافراد عن طريق النشر في اطار مجهول مناسب.

2.7 الاستعمال الطبي للاشعاع

من الممكن تقسيم حقل الاستعمال الطبي للاشعاع الى صنفين هما التشخيص بالاشعة (Diagnostic radiology) والاستعمال العلاجي للاشعاع (Therapeutic use of radiation) ان الاختلاف بينهما هو ان الهدف من التشخيص بالاشعة هو استعمال اقل تعرض الى الاشعاع للمفحوصين والعاملين في الحقل الطبي لغرض الحصول على المعلومات المطلوبة اما المعالجة فان الغرض منها هو اعطاء المريض جرعا اشعاعية عالية جدا الى النسيج الملائم وبنفس الوقت يتسلم العاملون في حقل الطب اقل جرعة ممكنة وليس من السهولة او الامكان دائما الفصل بين هذين الصنفين في المعلومات المنشورة.

1.2.7 التشخيص باستعمال حزمة خارجية في الاشعاع

(Diagnosis radiology using external beam of radiation)

هذا الاستعمال من اكثر الاستعمالات انتشارا وشيوعا للاشعاع في الطب حيث ان متوسط الجرعة السنوية الى جميع العاملين يتراوح بين اجزاء المئغراي الى بضعة مئغراي ويكون الاطباء والمصورون الشعاعيون من اكثر المجاميع تعرضا للاشعاع.

ومن الممكن الاستفادة من عدد الافلام المستعملة لاختد صور بالاشعة السينية لمقارنة الجرعة المتجمعة لوحدة الناتج ومع ذلك فان المقارنة في هذا المجال تكون صعبة وذلك لان عدد الافلام المستعملة لا يمكن ان يعزى بصورة مباشرة الى الفوائد التي تجنى من قبل المرضى اذ انه ربما يكون هنالك اسباب اخرى لاختد الاشعة السينية ومع هذا فان القيم تكون ثابتة وتتراوح بين 1 man Sv الى 2 man Sv لكل مليون فلم ويبلغ الحد الادنى 0.4 man Sv

بينما يبلغ الحد الاقصى 4 man Sv

اما اطباء الاسنان الذين يستعملون نوعا مختلفا من الاشعة السينية فانهم يعتبرون مجموعة ثانوية ويميز هذا النوع من التعرض بانه يشمل عددا كبيرا من العاملين الذين يتعرضون الى جرعة اشعاعية فردية واطئة حيث ان متوسط الجرعة السنوية يتراوح بين ما يزيد على الصفر لغاية 0.5 ملغراي . وهناك مجموعة صغيرة من المستعملين للأشعة السينية للتشخيص الذي يؤدي الى علاج لا يشمل الاشعاع مثل المقومين للعمود الفقري باليد (Chiropractors) واطباء العظام (Osteopaths) حيث يتراوح تعرضهم لمتوسط جرعة سنوية مقدارها 0.2 ملغراي الى 0.3 ملغراي في بعض الدول و 0.1 ملغراي في دول اخرى استنادا الى الممارسة .

التشخيص باستعمال النظائر المشعة المندمجة (Diagnosis with incorporated radionuclides.)

وهو ما يرمز له عادة بالطب الذري وهو يشمل استعمال انواع معينة من النويدات المشعة التي ربما يتم اختيارها لانها تتركز في اعضاء خاصة . ومن مشاكل السيطرة على الجرعة ما تعتمد في معظم الحالات على الوقاية من الاستنشاق والتناول وخاصة خلال تحضير وتحليل واعطاء المواد الصيدلانية ^{المعلمة} (Radiopharmaceutics) ومع هذا فانه يوجد كذلك مجال اشعاعي خارجي من بعض النويدات المشعة مثل التكنيشيوم ^{٩٩٠٠} الذي ربما يعطي جرعا اشعاعية عالية جدا لليدي تقرب من بضعة مئات من مليسيفرت عندما لا تتم حماية الحقنة (Syringe)

ان استعمال الطب الذري قد ازداد في عدد من البلدان زيادة سريعة في عشر السنوات الاخيرة ولهذا يكون من المفضل الحصول على معلومات مفصلة عن تعرض الانسجة والاعضاء لانواع النويدات المشعة بالاضافة الى تقدير الكميات المستعملة وعدد العاملين المتعرضين . ان متوسط الجرعة السنوية لعموم الجسم تكون واطئة حيث تبلغ 1-2 ملغراي وقد تكون جرعة

الاطراف اعلى من ذلك كثيرا. وقد يتعرض كادر التمريض من الفعالية المتبقية في المرضى بعد الرجوع الى محلاتهم.

2.2.7 العلاج بالاشعة (Radiotherapy)

ان العلاج بحزمة خارجية من الاشعة يجري داخل غرف مدرعة بصورة جيدة وبما انه لا توجد فعالية متخلفة في المرضى فانه سوف لا تنتج جرعا اشعاعية الى المرضى عند رجوع المرضى الى ردهاتهم. ان الجرعة الاشعاعية للكادر الطبي المؤهل تكون قليلة جدا حيث ان تشغيل هذه المنشآت يقع على عاتق عاملين مؤهلين اخرين لا يكونون معرفين بصورة دائمية ببساطة في سجلات الجرعة ومع هذا فانه من الممكن اعتبارهم من مجموعة العلاج بالاشعة من بعيد (Teletherapy)

كما ان متوسط الجرعة السنوية يبلغ نحو 2.5 ملغراي . ونسبة توزيع الجرعة المتجمعة السنوية (GR) . تبلغ نحو 0.3

هنالك بعض المجاميع الخاصة من العلاج تقع تحت عنوان العلاج بالاشعة. ان ذلك يشمل العلاج بالطاقة العالية الذي لا يشمل العلاج بالاشعة السينية او باجهزة الكوبلت الاعتيادية والنوع الاخر هو استعمال الحزمة النيوترونية وبما ان الدروع تستعمل في هذه الحالات فانه لا يتوقع حدوث تعرض للعاملين عليها ولكن مع هذا فانه قد يحدث تنشيط للهدف مما يؤدي الى جرعة متوسطة سنوية من الاشعاع الخارجي مقداره بضعة m.Gy. الى الكادر الطبي والمرضى المختص .

المعالجة بالاشعاع باستعمال مصادر بين الانسجة والتجاويف

(Radiotherapy using interstitial and intracavity sources)

يتطلب علاج بعض الانسجة الخبيثة استعمال مصادر مغلقة من عدة انواع تعطي جرعا اشعاعية موضعية عالية الى هذه الانسجة . ان هذه العملية

تجرى عادة من قبل عاملين مؤهلين في مجال الطب ومن ضمنهم الجراحون الذين يحتمل تعرضهم الى جرعة اشعاعية عالية وخاصة لليدين والوجه والتي لا يمكن وضع دروع واقية لها بصورة مؤثرة. كما ان هؤلاء المرضى يسببون جرعا اشعاعية للمرضى الآخرين القريبين منهم.

والاتجاه في هذه المعالجات، هو ايجاد طرق لتقليل مصادر التعرض المهني وقد جرى هذا بالدرجة الاساس بواسطة محاولة ايجاد تقنية تدعى ما بعد التحميل (After loading) حيث تمكن الاجراءات الجراحية والاجراءات الاخرى من التنفيذ بغياب المصدر الذي يوضع ميكانيكا بعد ذلك. ان هذا الاجراء يسمح باستعمال مصادر ذات فعالية اكثر من المصادر التي يتم التعامل معها مباشرة باليد مما يقلل من الزمن اللازم بحيث تتاح الفرصة لازالة المصدر قبل رجوع المرضى الى محلهم. ولقد وجد انه يمكن تخفيض متوسط الجرعة السنوية لكادر التمريض الى حدود 0.2 mGy الى 1.5 mGy بعد استعمال طريقة ما بعد التحميل بينما قد تبلغ الجرعة نحو 4.4 mGy دون استعمال هذه الطريقة. ومن الصعب تقدير الجرعة المتوسطة السنوية لعموم الجسم او الجرعة المؤثرة وذلك لاحتمالية حدوث تشعيع بطريقة غير منتظمة.

العلاج بالاشعة باستعمال المصادر المفتوحة

(Radiotherapy with unscaled sources)

ان معالجة الامراض السرطانية في بعض الاحيان ربما يجري باستعمال المواد الصيدلانية المعلمة التي تذهب بصورة مفضلة الى العضو المعين. ان اكثر الامثلة شيوعا على ذلك هو معالجة الغدة الدرقية باليود المشع وهذا النوع من العلاج يخلق مشاكل خاصة للتمريض بعد العلاج حيث ان الفعالية تفقد بصورة تدريجية من المرضى بواسطة فعاليات الطرح الاعتيادي من الجسم وبضمنها التعرق والتنفس والادارار ولربما تكون هنالك جرعة اشعاعية خارجية ملموسة اعتمادا على النويدات المشعة المستعملة.

والخلاصة ان الجرعة الاشعاعية لمستعملي الاشعاع للاغراض الطبية تكون متغيرة كثيرا وتتميز في بعض الحالات بعدم وجود تجانس للتوزيع على الجسم. كما انه من غير الممكن تشخيص وحساب فوائد جميع الاعمال الطبية ولغرض الحصول على دلالة حول مجموع التعرض المهني فانه ربما يكون من الافضل وصفها بمكافئ الجرعة المتجمعة السنوية لكل مليون من السكان. ان المعلومات المتوفرة تشير الى ان هذه الطريقة تختلف من قطر لآخر. ان رقماً مقبولا للدلالة على مكافئ الجرعة السنوية المتجمعة لكل مليون شخص في الدول ذات العناية الطبية الفائقة هي 1 mSv ويجب استعمال قيمة اقل في البلدان التي تستعمل الاشعاع في الطب بصورة اقل.

3.7 استعمال الاشعاع في الصناعة والبحوث

هناك استعمالات عامة متعددة للاشعاع في الوقت الراهن في الصناعات العامة. ان معظم هذه الاستعمالات تشمل مصادر مغلقة بحيث تعطي جرعا اشعاعية ضئيلة جدا بحيث ان المستعملين لا يصنفون ضمن العاملين في حقول الاشعاع والامثلة على ذلك كاشفات الحريق والدخان ومقاييس السُمك. ان هذه الاستعمالات تشمل

1.3.7 التصوير الصناعي الاشعاعي (Industrial radiography)

من الممكن تقسيم التصوير الصناعي الاشعاعي الى قسمين رئيسيين وهما الاول ما تكون فيه المنشآت دائمية نوعا ما ويجري فحص النماذج تحت ظروف مسيطر عليها بصورة معتدلة والثاني ما تستعمل فيه المصادر تحت ظروف متخلفة وذلك في مواقع الانشاءات ومواقع اخرى.

ان السيطرة القياسية والاشراف والوقاية تختلف الى درجة كبيرة في الحالتين وهذا مما يجعل حوادث التعرض لاعلى ما هو مسموح به من الجرع حالة واقعية فيما يخص النوع الثاني من الاعمال وخاصة المصورين الشعاعيين في المواقع.

وغالبا ما يتم عدم التمييز بين هذه الصنوف. ان المصورين الشعاعيين في بعض البلدان يتسلمون جرعا سنوية متوسطة مقدارها 2.5 mGy وقد تختلف الجرعة المتسلمة في التصوير بين موقع واخر. ان نسبة توزيع الجرعة المتجمعة السنوية (GR) تبلغ نحو 0.4 وقد تراوحت النتائج في كثير من الدول بين 1 mGy الى 2 mGy وعلى ما يبدو فان هناك تناقضا بين متوسط الجرعة السنوية وتوزيع الجرعة الواردة هنا وبين الفكرة الواسعة الانتشار والقائلة بان المصورين الشعاعيين هم من اكثر المجاميع تعرضا للاشعاع. ان هذه الفكرة تستند الى الحقيقة وهي ان العاملين في هذه المجموعة يكونون اكثر عرضة لتسلم جرعة اشعاعية اعلى من الحدود المسموح بها والتي تكون ناتجة عن الحوادث اكثر من اية مهنة اخرى.

2-3-7- الصناعات الوضائية (Luminizing)

ان المواد المشعة مستعملة منذ عقود من الزمن بصفة مواد وضائية ولقد ظهر الاتجاه الان لتبديل الراديوم بالتريتيوم والى درجة اقل بالبروميسيوم - 147 ومع هذا فان الطريقة مازالت مستعملة بصورة واسعة. ان التريتيوم يستعمل مع الفسفور في الاصباغ او بصفة غاز داخل انبوب زجاجي تطلّى جدرانها بالفسفور كما ان متوسط الجرعة السنوية يكون مرتفعا الى حد ما ويصل الى 15 ملغراي ويكاد يعود بصورة كاملة الى الجرعة الداخلية الناتجة من التريتيوم مع توزيع جرعة يظهر جزء مهم في العاملين المتسلمين لجرعة اشعاعية تتجاوز 15 ملغراي وهناك عدد قليل من العاملين الذين تتجاوز جرعتهم 50 ملغراي.

3.3.7 انتاج النظائر المشعة

ان هذا يشمل انتاج المصادر المشعة المغلقة والمفتوحة وبعض المواد الصيدلانية المشعة. ان من المحتمل ان يسبب هذا النوع من الاعمال تعرضا بواسطة دخول المواد المشعة الى الجسم مما يسبب جرعا متوسطة سنوية تبلغ 7.5 ملغراي.

كما ان بعض العاملين في المطارات قد يتعرضون الى الاشعاع نتيجة نقل رزم هذه المواد المشعة. لقد دلت بعض الدراسات على ان الجرعة الاشعاعية المتسلمة من قبل عمال نقل البضائع في المطارات تكون قليلة ولا تتجاوز 1 ملغراي لاعلى جرعة للمجاميع وان اعلى جرعة فردية لم تتجاوز 5 mGy ان متوسط الجرعة الاشعاعية السنوية الى الطيارين وكادر الطيران الناجم عن رزم المواد المشعة والتي يكون معظمها محتويا على المواد الصيدلانية المعلمة قد قدرت بانها اقل من 0.01 mGy ان اعلى جرعة فردية لاي من طاقم الطائرة المساعد الناتج عن الرزم للمواد المشعة قد قدر بـ 1 mGy

4.3.7 الاستعمالات الصناعية الاخرى

هناك استعمالات كثيرة اخرى للمصادر المفتوحة والمغلقة تتراوح بين التجارب باستعمال المواد المعلمة الى ايجاد عمق الابار وانظمة القياس الاخرى.

والمعلومات عن التعرض في هذه المصادر لا تتميز بصورة منفصلة في بلدان كثيرة من العالم كما ان جميع هذه الانواع من الاستعمال للاشعاع في الصناعة تولد نفايات مشعة غالبا ما تكون بحجم كبير لا يكون ملائما للمعاملة او التعبئة ويجري ردم مثل هذه النفايات في عدد كبير من البلدان مفصولا عن ردم النفايات المتولدة من الصناعات النووية.

وتكون الجرعة الاشعاعية المتسلمة من قبل العاملين في هذه الاعمال عالية جدا حيث يبلغ متوسط الجرعة السنوية 13 ملغراي وتمثل هذه المجموعة اعلى مجاميع العاملين في حقول الاشعاع تعرضا وظيفيا.

4.7 البحوث

هنالك عدد من العاملين الذين يستعملون الاشعاع واسطة للبحوث وفي الغالبية العظمى من هذه المهن يكون متوسط الجرعة السنوية فيها قليلا جدا اذ يبلغ 1 ملغراي وهنالك مجاميع بحثية تقسم جرعا اعلى ومنها العاملون في المعجلات ومرافق التشعيع الكبيرة التي تؤدي الاعمال فيها الى جرعة متوسطة سنوية مقدارها 4.5 ملغراي كما يتعرض بعض الباحثين المستعملين للمصادر المشعة المفتوحة الى جرعة تتجاوز 15 ملغراي.

وخلاصة القول فان هنالك استعمالات متعددة للاشعاع في المجال الصناعي تقع تحت اشراف ادارات مختلفة وغالبا ما تكون تحت قوانين مختلفة حسب البلدان ولهذا فان النتائج المنشورة لا تكون متماثلة.

هناك بعض الملاحظات

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل الثامن

معايير الوقاية من الاشعاع الاساسية وتطبيقاتها

(Basic Safety Standards For Radiation Protection.)

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتني الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرباط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

الفصل الثامن

معايير الوقاية من الاشعاع الاساسية وتطبيقاتها

1.8 الفلسفة واسس الوقاية من الاشعاع

تكون الوقاية من الاشعاع معنية بوقاية الافراد وذريتهم والبشرية كلها من التأثير الضار للاشعاع الجسمي والوراثي مع السماح للفعاليات الضرورية بالحدوث والتي ينتج عنها تعرض اشعاعي. ان التأثيرات تسمى جسيمة في حالة ظهورها على الاشخاص المعرضين وتسمى وراثية في حالة ظهورها على السلالات اللاحقة.

وتتضمن الوقاية من الاشعاع نوعين مميزين من انواع التعرض هما .
التعرض المنظور الذي يمكن الحد منه بواسطة السيطرة على مصدر الاشعاع وبواسطة تطبيق نظام تحديد الجرعة (ان هذا التعرض للاشعاع يمثل ظروف التعرض الوظيفي). والنوع الاخر من التعرض هو التعرض الى الاشعاع الذي لا يمكن السيطرة على مصدر الاشعاع وان اي تعرض لاحق يمكن ان يحدد مقداره (ان امكن ذلك) بواسطة اعمال تصحيحية. ان هذا التعرض يحدث في الظروف غير الطبيعية (كالحوادث) ..

ان اي برنامج للوقاية من الاشعاع يتضمن هدفين رئيسيين هما :

1 - منع حدوث التأثيرات غير الاحتمالية الضارة (Non - stochastic effects)
ان هذه التأثيرات تحدث وان هناك قيمة مشرفية (Threshold value) لا يحتمل ان تحدث ما لم يتم تجاوزها ومثال على ذلك عتمة عدسة العين وانخفاض خلايا نخاع العظام.

2 - تخفيض حدوث التأثيرات الاحتمالية (Stochastic effects) الى مستويات اقل بصورة كافية لكي تصبح مقبولة. ان هذه التأثيرات تظهر على بعض الاشخاص بشكل عشوائي عند التعرض الى مستويات اشعاع ضمن حدود التعرض المهني. ان مثل هذه التأثيرات تكون كامنة عادة وتظهر بعد فترة طويلة من التعرض الى الجرعة الاشعاعية الواطئة وتشمل هذا التأثيرات حدوث الامراض الخبيثة (السرطان) والتأثيرات الوراثية. ولا يوجد حد حرج لها اي انها يحتمل ان تحدث عند التعرض لاي جرعة مهما كانت قليلة وبذلك

فانه من حيث المبدأ لا توجد هنالك جرعة اشعاعية لا يحتمل ان تسبب ضرراً. وبالإضافة الى ذلك فان هنالك هدفا ثالث وهو التأكد من ان اي عمل يتضمن التعرض الى الاشعاع يجب ان يكون مبرراً. ان منع التأثيرات غير الاحتمالية يتضمن وضع حدود لمكافئ الجرعة تكون قليلة بما فيه الكفاية بحيث لا تبلغ الجرعة الحرجة حتى بعد التعرض الى الاشعاع بملدى الحياة او خلال فترة العمل في حقول الاشعاع. اما الحد من التأثيرات الاحتمالية فان ذلك يتم بواسطة المحافظة على التعرض الى اقل ما يمكن منطقياً مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية والتي تكون محددة كذلك بظروف عدم تجاوز حدود مكافئ الجرعة المناسبة.

ان معظم القرارات حول فعاليات البشر تستند الى الموازنة بين الكلفة والمنفعة مما يؤدي الى الوصول الى القناعة بان الفعالية تستحق القيام بها بالإضافة الى ان الفعالية يجب ان تتم بصورة يحصل فيها الفرد او المجتمع على اقصى فائدة.

ومن الممكن وضع الاطار الشكلي لعمليات اتخاذ القرار هذه ولكن تطبيق هذه العمليات سوف لا يوفر وقاية للأفراد. دائماً لهذا يصبح من الضروري وضع حدود لمكافئ الجرعة في الحالات التي لا تكون المنافع والمضار متسلسلة من قبل نفس الافراد من السكان .

وعليه فان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) قد قامت في سنة 1977 باصدار توصياتها حول الموضوع (المصدر 52) حيث اقترحت نظاماً لتحديد الجرعة.

2.8 نظام تحديد الجرعة (Dose Limitation System)

تشمل التعليمات الرئيسية لنظام تحديد الجرعة ما يلي

- 1- لا يتم القيام بأي عمل في حقول الاشعاع ما لم يؤد ذلك الى حصول منفعة ايجابية صافية (Positive net benefit)

- 2 - ان جميع التعرضات يجب ان يحافظ عليها على اقل ما يمكن منطقيا مع
الاحذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية،
- 3 - ان مكافئ الجرعة للأفراد يجب ان لا يتجاوز حدودا موصى بها من قبل
الهيئة حسب الظروف.
- ولغرض الاستجابة للخواص الرئيس للنظام فانه سوف يجري شرح
كل واحدة من هذه الخواص.

1.2.8 التبرير (Justification)

لغرض منع التعرض غير الضروري الى الاشعاع فان اي عمل يؤدي
الى التعرض الى الاشعة المؤينة يجب ان لا يجاز من السلطات المسؤولة (هيئة
الوقاية من الاشعاع في العراق) ما لم ينتج عنه فائدة صافية.

يجري تبرير العمل المتضمن التعرض للاشعاع المقترح عن طريق دراسة
المزايا والمساوىء للتأكد من وجود فائدة صافية (Overall net benefit). ان
الجهات المختصة يجب ان تتأكد من ان الضرر الكلي (Total detriment) الذي ينتج
عن العمل المقترح يكون قليلا بصورة ملموسة بالمقارنة مع الفوائد المتوخاة من
العمل او المشروع. ان من الممكن استعمال تحليل الكلفة / الفائدة (Cost -
benefit analysis) لغرض الوصول الى قرار يتعلق بالسماح بالقيام بالعمل او
المشروع الذي يؤدي الى التعرض الى الاشعاع.

كما ان من الممكن التعبير عن الفائدة في تحليل الكلفة والفائدة الصافية
الناجمة من العمل المتعلق بالتعرض الى الاشعاع بالمعادلة التالية

$$B = V - (P + X + Y) \dots\dots\dots (8.1)$$

ان حساب وتقدير المصطلحات الواردة في المعادلة لغرض
التقدير المطلق (Absolute assessment) اللازم لتبرير العمل لا يكون سهلا
بالاضافة الى تعقده ولهذا يلجأ الى التقدير النسبي (Relative assessment)

الذي يقارن بين مبررات المشاريع البديلة حيث يكون اجراؤه اسهل لان الفائدة الكلية تبقى كما هي .

يخضع قبول مشروع عمل او تفضيل مشروع عمل على اخر لعدة عوامل يتعلق قسم منها فقط بالوقاية من الاشعاع . ان دراسة دور الوقاية من الإشعاع في التبرير يضمن ان الضرر الناتج من الاشعاع قد اخذ بنظر الاعتبار .

2.2.8 ايصال الوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى

(Optimization of radiation protection)

لغرض معرفة ما اذا كان تقليل التعرض قد تم بطريقة منطقية فانه من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار زيادة الفائدة من جهة من هذا التقليل وزيادة التكاليف من الناحية الاخرى اللازمة لاحداث هذا التقليل . وفي تحليل الكلفة / الفائدة التفاضلي (Differential cost – benefit analysis) الذي يجري لموصول الى اقصى ما يمكن من الفائدة الصافية فان المتغير غير المعتمد وهو مكافئ الجرعة المتجمعة S من الممارسة . ان الفائدة الصافية المثالية يمكن ان يحصل عليها فيما لو تحققت المعادلة

$$\frac{dv}{ds} - \left(\frac{dp}{ds} + \frac{dx}{ds} + \frac{dy}{ds} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

وبما V و P تعتبران ثابتين مع S لفعالية معينة فانه نستنتج ان شروط المثالية قد استجيب لها في قيمة S بحيث ان الزيادة في تكاليف الوقاية لوحدة مكافئ الجرعة توازن تقليل الضرر لوحدة مكافئ الجرعة

$$\left(\frac{dx}{ds} \right)_s = - \left(\frac{dy}{ds} \right)_s \quad \dots\dots\dots (8.3)$$

ومع هذا فان المكونات الاخرى للضرر الاشعاعي مثل وضع القيود على المسالك للمنطقة او وضع القيود على استعمال المنطقة لا يكون متعلقا مباشرة مع مكافئ الجرعة المتجمعة وانه ربما يتأثر في بعض الحالات باعلى جرعة مكافئة للمجاميع المتعرضة.

ان التقديرات المستندة الى المعادلة اعلاه ربما تساعد بواسطة وضع قيمة نقدية على وحدة مكافئ الجرعة المتجمعة بالرغم من انه في التطبيق العملي يكون من الصعب جدا قياس بعض مكونات الضرر كمياً. كما ان تطبيق العمليات الواردة في هذا الفصل قد لا توفر دائماً وقاية كافية للأفراد وخاصة عندما لا تكون الكلفة والفائدة موزعة بصورة مماثلة على السكان ولعمل متعين وبغض النظر عن نتائج تحليل الكلفة / الفائدة فانه يجب ان تحترم حدود مكافئ الجرعة الفردية واذا كان استعمال مكافئ الجرعة المتجمعة المثالي يؤدي الى تجاوز اي فرد للحدود المناسبة فانه يصبح من الضروري وضع قيمة لمكافئ الجرعة المتجمعة بحيث تحترم حدود مكافئ الجرعة الفردية.

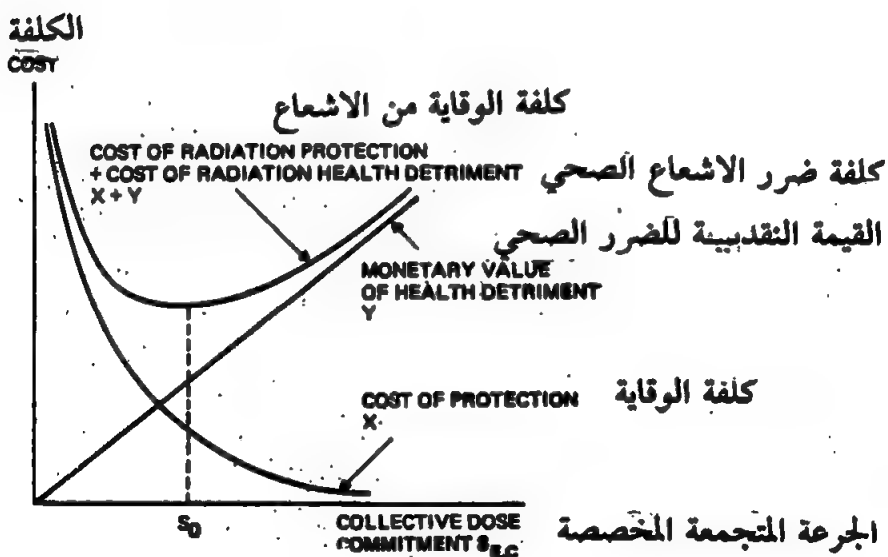
ونستنتج من المناقشة التي جرت اعلاه انه عند تصميم مصادر الاشعاع ووضع الخطط الخاصة بالاستعمال المقبل وتشغيل المصدر او المنشأة فانه يجب ان يجري ذلك بطريقة تؤدي الى ان التعرض الى الاشعاع يكون على اقله ضمن حدود المعقول (As low as reasonably achievable) مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية.

ان التحليل الكمي يستعمل بصفة منهاج للسلطات المختصة عند وضعها للمتطلبات الكمية مثل الحدود المصرح بها (Authorized limits) او المستويات المحددة (Reference levels). ان التحليل الكمي يستعمل كذلك لتقدير مديات تقليل الجرعة عند التعرض قبل ان يؤدي خفض الجرعة اكثر الى زيادة نسبية في الكلفة تكون غير مبررة ويعتمد هذا التقدير على تحليل الكلفة / الفائدة التفاضلي (Differential cost - benefit) وهو يعرف كذلك بتقدير المثالية (Optimization assessment) ان كلفة الضرر الاشعاعي (Radiation detriment cost) يفرض عادة على انها تتناسب مع مكافئ الجرعة المؤثرة

الكلفة المخصصة ورمزها SC_E للفعاليات تحت التقدير وإذا كانت هناك عوامل أخرى مثل احتمال الخطر للسكان (Public risk perception) قد تكون ضمن كلف الضرر الناتج من الإشعاع فعندئذ تكون القيمة Y كذلك دالة للجرع الفردية (Individual) ورمزها H_i لمجاميع مختلفة من المتعرضين N_i وبهذا تكون قيمة الضرر

$$Y = \alpha SC_E + B \sum N_i f(H_i) \dots\dots (8.4)$$

ان الوقاية من الإشعاع تعتبر مثالية عندما تكون مجموع تكاليف الوقاية X وتكاليف الضرر من الإشعاع Y على اقلها (الشكل 1.8) وبعد ان تقوم الجهات المخصصة بتقدير المثالية للمشروع فانها



الشكل 1.8 الوصول بالوقاية من الإشعاع الى الحالة المثلى

المصدر IAEA(1982) 44

ربما تستند الى النتائج في وضع الضوابط كأن تقوم بتحديد اقل سمك مسموح به للدروع الواقية او التعرض الاقصى قرب المصدر المشع او اختيار الطريقة لمعاملة النفايات .

عندما يعتبر مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة S_E المخصصة نتيجة العمل متغيراً مستقلاً فان الفائدة الصافية المثالية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار وكأنها حققت بقيمة S_E كما بحيث يصبح نظرياً

$$\frac{dv}{dS_E} + \left(\frac{Dp}{dS_E} + \frac{dx}{dS_E} + \frac{dY}{dS_E} \right) = 0 \quad \dots (8.5)$$

وكذلك فانه اذا كان من الممكن اعتبار P و V بصفة ثابتين مع S_E وهي الحالة الاعتيادية فان الحالة المثالية تختصر الى

$$\left(\frac{dx}{dS_E} \right) = - \left(\frac{dY}{dS_E} \right) \quad \dots (8.6)$$

وعندما يتناسب الضرر من الاشعاع مع مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة فانه من الممكن اعتبار قيمة $\frac{dY}{dS_E}$ بصفة قيمة ثابتة اذا كان

$$\frac{dY}{dS_E} = -\alpha \dots (8.7)$$

عندما تكون تكاليف الوقاية من الاشعاع متغيرة باستمرار فانه من الممكن اعتبار

$$\frac{dX}{dS_E} = \alpha \dots (8.8)$$

بصفة وقاية مثالية نظرية (Optimal theoretical protection) ولهذا فانه عند تطبيق المعادلة اعلاه فانه يكون من المناسب لغرض الوصول بمعاملات الوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى (Optimization of protection parameters) اخذ قيم مستمرة مثل سمك الدرع الواقي . ومن الناحية الاخرى عندما يكون المتغير في مستوى الوقاية غير مستمر (Discontinueous) وهو الذي يشمل الاختيار بين خيارات الوقاية فانه من الممكن استعمال الاسلوب ادناه :

عندما يكون القرار هو تغيير مستوى الوقاية A الى مستوى اعلى الوقاية B بحيث تكون كلف الوقاية للاول X_A والثاني X_B وان مكافئ الجرعة المتجمعة المخصصة هما S^A و S^B عندما تكون

$$\frac{X_B - X_A}{S^B - S^A} \dots\dots\dots (8.9)$$

ان التقدير المستند الى المعادلة اعلاه يتطلب استعمال قيمة مالية \propto ان هذه القيمة تكون تقديرية (Value judgement) تعكس رغبة المجتمع وقدرته على خفض الخطر الاحتمالي (Stochastic risk) . ان القيمة \propto تحدد من قبل السلطات المسؤولة لغرض استعمالها في تقدير المثالية (راجع المصدر 161)

ان من المتوقع استعمال الطرائق التحليلية الواردة في هذا الفصل عند التصاميم او عند وضع برنامج الوقاية من الاشعاع .
اما استعمالها اثناء التشغيل للمنشآت الموجودة حاليا فانها تكون نوعية وليست كمية .

3.2.8 تحديد الجرعة (Dose limitation)

تعتبر الحدود والمستويات القياسية مفاهيم مختلفة في الوقاية من الاشعاع حيث يكون الحد هو الكمية التي يجب ان لا يتم تجاوزها بينما يكون المستوى القياس كمية تستعمل لغرض الوصول الى التصرف في حالة معينة اذا فهي ليست حداً .

ان الحدود المستعملة في الوقاية من الاشعاع هي الاتي

الحدود الابتدائية للمكافئ الجرعة (Primary dose equivalent limits)

وهي ترمز الى مكافئ الجرعة (Dose equivalent) ومكافئ الجرعة المؤثرة (Effective dose equivalent) ومكافئ الجرعة المخصصة (Commut-

(Committed effective dose equivalent) ومكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent) واستناداً الى ظروف التعرض فان الحدود تشمل الافراد او في حالة تعرض السكان فان هذه الحدود ترمز الى الشريحة الاكثر تضرراً من السكان (Critical group) .

الحدود الثانوية (Secondary limits)

تظهر الحاجة الى الحدود الثانوية عندما لا يمكن تطبيق الحدود الابتدائية بصورة مباشرة. وفي حالة التعرض الخارجي فان الحدود الثانوية يعبر عنها بمصطلح دليل مكافئ الجرعة (Dose equivalent index) الذي يرمز له HI,d او H.I,s اما في حالة التعرض الداخلي فانه يعبر عن الحدود الثانوية بالحدود السنوية للتناول (Annual limits of intake)

الحدود المشتقة (Derived limits)

ان الحدود المشتقة تتعلق بالحدود الابتدائية بواسطة نموذج (Model) بحيث انه عندما يخضع الى الحدود المشتقة فانه من الممكن استنتاج الحدود الابتدائية.

الحدود المصرح بها (Authorized limits)

وهي الحدود التي توضع من قبل السلطات المختصة او من قبل ادارة المنشأة لاي كمية وهي تكون بصورة عامة اقل من الحدود الابتدائية او الحدود المشتقة وعندما تحدد الكميات من قبل ادارة المنشأة او المشروع فانه يطلق عليها كذلك حدود العمليات (Operation limits). ان الحدود الابتدائية والثانوية تحدد من قبل السلطات المختصة كهيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلاً ويتم تطبيقها على الافراد دون اخذ المصدر بنظر الاعتبار وبالإضافة الى ذلك فانه في منشأة محددة او طريقة محددة فان السلطات المختصة ربما تضع حدوداً لكميات متعددة لها علاقة مثلاً بمصدر الاشعاع والبيئة والاشخاص المعرضين الى الاشعاع. ان هذه الحدود المصرح بها تتغلب على الحدود المشتقة. ان

الحدود العملية يجب ان لا تزيد على الحدود المصرح بها وعندما توضع الحدود بوصفها قيما متوسطة لفترة من الزمن فان ذلك يدل على ان الفعالية للكمية المحددة في فترات زمنية اقل ربما تظهر بصورة متذبذبة كثيرا.

4.2.8 المستويات

هنالك عدة مستويات قياسية مستعملة في الوقاية من الاشعاع وهي

مستوى التسجيل (Recording level)

وهو المستوى الذي يحدد من قبل السلطات المختصة لمكافئ الجرعة او لمكافئ الجرعة المؤثرة او للتناول (intake) حيث ان القيم الاعلى منها تعطي معلومات تكون مهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع بحيث تستحق التسجيل والحفظ راجع (ICRP 30) المصادر (52-56)

مستوى التحري (Investigation level)

وهي قيم مكافئ الجرعة الجبرية او مكافئ الجرعة المؤثرة او التناول التي عند تجاوزها فان النتائج قد تكون مهمة بما فيه الكفاية مما يستوجب تتبع ودراسة الموضوع.

مستوى التدخل (Intervention level)

ويتم تحديد هذا المستوى عادة في الحالات غير الاعتيادية الذي لا يكون فيها المصدر المشع تحت السيطرة. تقوم الجهات المختصة بوضع هذه الحدود مقدما او قد تقوم ادارة المشروع او المنشأة بذلك بحيث انه في حالة عدم تجاوز القيم الموضوعه او انها لا يحتمل ان تتجاوز هذه القيم فانه من غير المحتمل ان يحدث التدخل.

المستويات القياسية

ربما يتم وضع مستويات قياسية لاي كمية مستعملة الوقاية من الاشعاع سواء اكانت هناك حدود لتلك الكمية ام لم تكن.

5.2.8 حدود مكافئ الجرعة السنوية (Annual dose equivalent limits)

يجب ان لا يزيد تعرض الافراد نتيجة التعرض الى عمل مسيطر عليه الى اكثر مما يلي

العاملين

ان حدود مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية هي 50 mSv بالنسبة الى التأثيرات الاحتمالية (Stochastic effects) (5 rem) وبالإضافة الى ذلك فان حدود مكافئ الجرعة السنوية بالنسبة للتأثيرات غير الاحتمالية (Non - stochastic effects) هي 5000 Sv (50 rem) ما عدا عدسة العين حيث يكون الحد 150 mSv (15 rem)

التعرض المتعمد: (Planned special exposure)

هنالك عدة ضوابط موضوعة للتعرض المتعمد هي

- 1- الترخيص المناسب من قبل الادارة. ان مثل هذه الترخيصات تعطى فقط في الحالات الاستثنائية خلال التشغيل الاعتيادي عندما لا يمكن استعمال طرائق بديلة تؤدي الى حدوث تعرض اقل.
- 2- المراعاة على ان المكافئ الجرعة ومكافئ الجرعة المخصصة المتسلمة اثناء التعرض الخاص المتعمد لا تتجاوز ضعف الحدود السنوية ذات العلاقة

1 0.3 سيفرت (30 rem) حسب توصية ICRP (المصدر: 52)

والخاصة بالعاملين في حادثة مفردة او في خلال العمر خمس مرات .

3 - يجب استشارة العاملين الذين سوف يتعرضون الى الجرعة المتعمدة الخاصة حول مخطط العملية قبل تنفيذها واخبارهم حول مقدار الخطر الناتج وشرح طريقة خفض الجرعة المتسلمة الى اقل ما يمكن تحقيقه

4 - لا يصرح بالتعرض الخاص المتعمد في الحالات التالية

أ - العاملين الذين تعرضوا سابقا تعرضا غير طبيعي وغير مسيطر عليه مما تسبب في جرعة مكافئة اكثر من خمس مرات الحدود السنوية .

ب - العاملات من النساء القابلات على الانجاب .

5 - تنطبق ضوابط معينة على العامل المتعرض للتعرض الخاص المتعمد وهي الحالات التي قد يتجاوز التعرض السنوي فيها ثلاثة اعشار حدود مكافئ

الجرع حيث يخضع العاملون الى المراقبة الصحية (Health supervision) ويقدر مكافئ الجرعة بصورة فردية حيث يتم تقدير مكافئ الجرعة الشخصية

بواسطة مراقبة الافراد للاشعاع الخارجي (Individual monitoring for external radiation) والتلوث الداخلي كلما دعت الضرورة لذلك بالرغم من انها في

بعض الاحيان تعمل بطريقة غير مباشرة .

6 - ان مكافئ الجرعة ومكافئ الجرعة المخصصة التي تنتج عن التعرض

الخاص يجب ان تسجل مع الجرعة المتسلمة في حالات التعرض الاعتيادية ولكن اي زيادة عن الحدود الموصى بها للعاملين في حقول الاشعاع يجب ان لا

تستعمل بصفة سبب لغرض تنحية العامل عن عمله المعتاد .

7 - ان مكافئ الجرعة او مكافئ الجرعة المخصصة الناتجة عن التعرض المتعمد

الخاص يجب ان يبلغ بها العامل والطبيب الممارس المختص المخول (Approved medical practioner) والى الجهات المختصة (في العراق اللجنة

الطبية الخاصة المسماة بموجب قانون الوقاية من الاشعاعات المؤينة الرقم 99

لسنة 1980 والى هيئة الوقاية من الاشعاع)

النساء القابلات للحمل (Women of reproductive capacity)

لا توجد هناك ضوابط خاصة للنساء القابلات للحمل مع ملاحظة توزيع التعرض على الزمن بصورة منتظمة ان امكن ذلك. ان الغرض من ذلك هو حماية الجنين قبل ان تكتشف حالة الحمل وعندما يعرف ان المرأة تكون حاملا فانها يجب ان تشغل في عمل تكون احتمالية تعرضها فيه الى ثلاثة اعشار حدود مكافئ الجرعة ضئيلة جدا.

افراد المجتمع (Members of public)

ان حد مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية فيما يخص افراد المجتمع هو 0.5 rem mSv وهذه الحدود من الجرعة تطبق على الجزء الاكثر تعرضا من

السيكان (Critical group of population)

وعندما يكون تعرض نفس الافراد من المجتمع الى جرعة اشعاعية قريبة جدا من مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية لفترة طويلة جدا (عدة سنوات) فانه يصبح من اللازم اتخاذ الاجراءات لغرض تحديد جرعة العمر المكافئة المؤثرة (Life - time effective dose equivalent) الى قيمة تقارب متوسطا سنويا مقداره 1 mSv (0.1 rem)

6.2.8 الحدود الثانوية للتعرض المهني

(Secondary limits For occupational exposure)

1 - لغرض اثبات الالتزام بالحدود الابتدائية للتعرض المهني للعاملين في حقول الاشعاع والخاصة بالتعرض الاعتيادي والتعرض المتعمد الخاص فانه من الممكن استعمال دليل مكافئ الجرعة (Dose equivalent index) والحدود السنوية للتناول (Annual limits of intake) ورمزها ALI

(المصادر 52 - 30, 56 ICRP وملاحقه واجزاءه)

2- عندما يحدث التعرض الخارجي والتعرض الداخلي في نفس السنة فان حدود الجرعة السنوية سوف لا يتم تجاوزها اذا اخذ بنظر الاعتبار الشروط التالية

$$\frac{HI,s}{500(mSv)}$$

$$\frac{HI,d}{50(mSv)} + \sum_j \frac{I_j}{I_{i,L}} \quad (8.10)$$

حيث تكون HI,s دليل مكافئ الجرعة السطحية

(Shallow dose - equivalent index)

و HI,d هو دليل مكافئ الجرعة العميق

(Deep dose - equivalent index)

و I_j هو الحد السنوي لتناول العنصر المشع i

Annual limit of intake for radionuclide j .

7.2.8 الحدود والكميات الثانوية لافراد المجتمع

(Secondary limit and quantities for members of the public)

بالنسبة لافراد المجتمع فانه من الممكن تقدير مكافئ الجرعة المؤثرة

باستعمال المعادلة

$$H_E = \sum T W_T H_T$$

حيث تكون H_T هي معدل مكافئ الجرعة في العضو او النسيج t و

W_T هو معامل الوزن (Weighing factor) الذي يمثل الضرر الناتج من

التأثير الاحتمالي الناتج في النسيج T الى مجموع الضرر (detriment) الناتج

من التأثير الاحتمالي عندما يشع الجسم بصورة منتظمة.

ان قيمة معامل الوزن لحمسة من الاعضاء او الانسجة الاخرى التي تتسلم اعلى مكافئ جرعة هي 0.06. وفيهمل التعرض للانسجة الاخرى مع الاخذ بنظر الاعتبار ان اجزاء القناة الهضمية (GI tract) مثل المعدة والامعاء الدقيقة والجزء العلوي من الامعاء الغليظة والجزء الاسفل من الامعاء الغليظة تعتبر اربعة اعضاء مختلفة. كما ان مكافئ الجرعة للأيدي والاذرع والاقدام والكعوب والجلد وعدسة العين لا تأخذ بنظر الاعتبار عند تقدير مكافئ الجرعة المؤثرة ومع ذلك فانه عند تقدير الضرر الناتج عن تعرض كافة السكان فان معامل الوزن للجلد وللأمراض السرطانية يكون 0.01 وذلك للاحتيالية القليلة بان يكون سرطان الجلد مميتا. ان نفس معاملات الوزن هذه تستعمل للعاملين مهنيًا في حقول الاشعاع ولأفراد المجتمع وتستعمل كذلك في حسابات مكافئ الجرعة الناتجة عن تناول المواد المشعة والمعلومات الحياتية وعوامل الابيض (التمثيل) (Metabolism) والعوامل الاخرى مثل عادات التغذية والتوزيع السكاني واستعمالات الارض المتعلقة بالشريحة الاجتماعية الاكثر تعرضا للضرر (Critical group).

في حالة تعرض الشريحة الاكثر حساسية للضرر المتكونة من الاشخاص البالغين فقط فانه يستعمل جزء بالعشرة وبالخمسة عشر من القيم الثانوية (Secondary quantities) والتي تكون او تقارب مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية للسكان⁽¹⁾ اما في الحالات الاخرى التي تكون فيها الشريحة الاجتماعية الاكثر تعرضا للضرر اطفالا او رضعًا فان قيمة 1/100 من قيم الـ ALI التي في المصادر 52-56 يمكن ان تستعمل بصفة كميات ثانوية على ان تكون مقارنة او اقل من مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية للسكان او انه يتطلب تقدير خاص. ان من الممكن استعمال دليل مكافئ الجرعة في حالة التعرض الخارجي وعندما يكون ملائما فان الكميات ذات العلاقة للحدود الثانوية تحسب باستعمال الحدود السنوية لمكافئ الجرعة المؤثرة الى دليل مكافئ الجرعة العميقة HI,d وحدود مكافئ الجرعة السنوية للجلد الى مكافئ الجرعة السطحية HI,s

(1) حددت بـ 1/10 لاحقا راجع ICRP 43 (1985) (مصدر 67)

3.8 التطبيقات العملية لاسس الوقاية من الاشعاع

هنالك عدة مستويات للتطبيقات العملية للوقاية من الاشعاع المستوى الاول ويكون من مسؤولية السلطات المختصة (Competent authority) وفيما يخص العراق فان ذلك يمثل هيئة الوقاية من الاشعاع. تقوم السلطات المختصة بوضع الضوابط اللازمة لوقاية العاملين وظيفيا في حقول الاشعاع والسكان وهي تصدر بذلك تعليمات وبيانات وتمنح رخصا لاقامة المشاريع والمنشآت التي يتم فيها التعرض الى الاشعاع.

1.3.8 منح الاجازة

ان أي اجازة لا تمنح لأي مصدر او فعالية ينتج عنها تعرض البشر للاشعاع المؤين ما لم تكن مصنوعة بنظام التبليغ والتسجيل او الاجازة حسب تعليمات الجهات المختصة ما عدا بعض الفعاليات ومصادر التعرض المستثناة بموجب القانون والتعليمات الصادرة لانها لا تشكل خطرا ملموسا على الصحة يستحق وضع الضوابط للسيطرة عليه.

وفيما يلي بعض الاسس التي تعتمد لاستثناء المواد المشعة والاجهزة ومصادر الاشعاع من الاجازة.

اولا: يتم منح الاستثناء بعد التأكد من ان الضرر الناتج (Detriment) من استعمال المصدر او العمل يكون قليلا. ان التوصل الى هذا القرار يستند الى المعلومات والخواص التالية

- 1- الخواص الكيميائية والفيزيائية والمواصفات التصميمية للمصدر او السلعة المستعملة وتشمل كذلك المعلومات المتعلقة بالنشاط الاشعاعي الكلي (Total activity) او الفعالية النوعية (Specitic activity) للمواد المشعة والجرع الاشعاعية القصوى على مسافة معينة من المصادر المشعة المغلقة او الاجهزة المولدة للاشعاع حيث تحسب الطاقة والكمية القصوى للاشعاع المتولد من الاجهزة.

- 2- التوزيع والاستعمال والردم .
- 3- استعمال المنتج ونوع العمل ووجود طرائق بديلة عنه .
- 4- الكمية المتوقعة للتوزيع منه .
- 5- الكمية المتراكمة المتوقعة نتيجة الحلقة الطويلة من التوزيع والاستعمال .
- 6- الجرعة الاشعاعية المتوقعة للأفراد بالإضافة الى الجرعة المتجمعة الناتجة من الاستعمالات في الحالات الطبيعية والحوادث .
- 7- احتمالية ضمان حالة المنتج مثل السيطرة النوعية او فحص النموذج الابتدائي (Prototype testing) للمنتج

مصادر الاشعاع المستثناة

ان من الممكن استثناء بعض المصادر من قبل الجهات المختصة ويشمل ذلك

- 1- اجهزة توليد الاشعاع التي تولد طاقة اشعاعية كمية لا تتجاوز 5 KeV .
- 2- المواد المشعة التي تشابه حالتها ما هو موجود في الطبيعة دون ان تجري عليها عمليات لزيادة تركيز المواد المشعة .
- 3- تضع دول متعددة استثناءات خاصة بها من الممكن الاستفادة منها من قبل السلطات الوطنية لوضع شروط الاستثناء من منح الاجازة وقد اصدرت هيئة الوقاية في العراق شروطا مشابهة .

منح الاجازة

ان منح الاجازة يلزم صاحب المصدر المشع التقيد بالتعليمات الصادرة من السلطات الوطنية بالتقيد بالقوانين والانظمة والتعليمات الخاصة بالوقاية من الاشعاع الصادرة من السلطات الوطنية والمؤسسات التابعة لها وفيما يخص العراق فان القانون الصادر في سنة 1980 حول الوقاية من الاشعاع قد انشأ مركزا يدعى مركز الوقاية من الاشعاع لغرض متابعة تنفيذ القانون .

4.8 الوقاية من الاشعاع في مجال التعرض المهني

تطبق المبادئ الاساسية لوجود المبرر والوصول الى الحالة المثالية وتحديد الجرعة على التعرض المهني. إن الجرعة المتجمعة الناتجة من كل عملية تشغيلية يجب ان تخفض الى اقل ما يمكن عمليا وان كل عامل في حقول الاشعاع يجب ان يحمى وذلك بتطبيق حدود مكافئ الجرعة الواردة في هذا الفصل ولا يجوز الاستعانة عن توفير اسس الوقاية من الاشعاع بالتعويضات والامتيازات للعاملين في حقول الاشعاع.

1.4.8 واجبات ادارة المنشأة

ان على ادارة المنشأة او المشروع الذي يتضمن تعرضا للاشعاع خاضعا للاجازة بموجب القوانين المرعية وضع وتطبيق برنامج للوقاية من الاشعاع يعتمد هذا البرنامج على سعة العمل ونوعية التعرض وهو يتراوح بين شخص مسؤول عن اعمال الوقاية من الاشعاع في المنشآت الصغيرة الى مجموعة كبيرة من العاملين في مراحل توليد الطاقة الكهرونووية (اعتمد نفس المبدأ من قبل هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق)

ان التركيز في هذا الفصل سوف يكون حول واجب ادارة المنشآت النووية في تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع. ان على عاتق الادارة اتخاذ الاجراءات الكفيلة لغرض تخفيض التعرض المهني كلما كان ذلك ممكنا من الناحية العملية وذلك بالسيطرة على المصادر المشعة واجهزة توليد الاشعاع وتهيئة محل ملائم للعمل. ان التأكيد يجب ان يتم على توفير ظروف السلامة في محل العمل وتأتي بالدرجة الثانية الوقاية الناتجة من تصرف العاملين انفسهم. ان استعمال اجهزة الوقاية يجب ان يكون مكملا لأسس السلامة الاساسية المتبعة في بناء محل العمل.

أ - دراسة التصاميم

ابتداء من مرحلة التصاميم فان ادارة المنشأة النووية او المشروع النووي يجب ان تدرس التصاميم لغرض التأكد من انها ملائمة لغرض تطبيق برنامج ناجح للوقاية من الاشعاع . ان هذه الدراسة والمراجعة تشمل :

- 1-الدروع الواقية .
- 2 - السيطرة على المواد المشعة المطروحة .
- 3 - التهوية وتنقية الهواء .
- 4 - الاجهزة الخاصة بالاشعاع والتلوث ومراقبة الجرعة والسيطرة في الحالات الاعتيادية والحوادث .
- 5 - المنظومات الابتدائية وسلامة البناء الحاوي (Containment) .
- 6 - طرائق الدخول مع الاخذ بنظر الاعتبار الحد الاقصى للاشخاص العاملين في المناطق الخاضعة للسيطرة .
- 7 - خرائط المكونات .
- 8 - كفاية المداخل ومناطق العمل والادامة .
- 9 - مبادئ التصاميم التي تسمح بالتعامل السريع ومن بعيد لغرض تفكيك وتجميع المكونات والدروع الواقية .
- 10 - الاجهزة اللازمة لاخذ النماذج اثناء الحوادث .
- 11 - الصور والخرائط وكراسات التشغيل والادامة المطلوبة في طرائق العمل لتقليل زمن التعرض .

ب - مراجعة الامور التشغيلية المتعلقة ببرنامج الوقاية من الاشعاع

وبالاضافة الى ذلك فان الامور التشغيلية الخاصة بالمنشأة والمتعلقة ببرنامج الوقاية من الاشعاع يجب ان تراجع بصورة دورية نتيجة الخبرة المكتسبة وكذلك فيما اذا حدث تحوير في المنشأة او اذا نشأت متطلبات خاصة نتيجة التعليمات الصادرة من السلطات المسؤولة والمتطلبات الجديدة .

جـ - تعريف المتسبين بقواعد الوقاية من الاشعاع
ان على عاتق ادارة المنشأة كذلك القيام بالترتيبات اللازمة لغرض
تعريف متسبي المنشأة النووية او المشروع النووي واعطاء معلومات كافية عن
قواعد الوقاية من الاشعاع.

د - توفير الاجهزة اللازمة
ان على عاتق الادارة كذلك توفير كميات كافية من الاجهزة والمختبرات
الخاصة بالوقاية الفردية لغرض مراقبة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي
للمنشأة والبيئة.

هـ - توفير الفحوصات الطبية
ان على ادارة المنشأة ان توفر الفحوصات الطبية للعاملين حسب
متطلبات السلطات المسؤولة.

و - التأكد من الصلاحية للعمل
تقوم ادارة المنشأة النووية بالتأكد من ان جميع الاشخاص العاملين في
الموقع سواء اكانوا تابعين لها ام لجهات اخرى اولئك الذين ينسبون للعمل في
مناطق الاشعاع بصورة مؤقتة يجب ان يكونوا صالحين للعمل في حقول
الاشعاع. ان على عاتق ادارة المنشأة النووية تبليغ الجهة التي يعمل بعض
العاملين في الموقع بمبعيتها عن تعرض هؤلاء العاملين للاشعاع

س - وضع الطرائق الكفيلة بتطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع
ان على عاتق ادارة المشروع النووي او المنشأة ان تضع الطرائق الكفيلة
بمراجعة تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع وتؤكد من ان اغراضه قد حققت.
ان المراجعة يجب ان تتضمن الحوادث الاشعاعية والتعرض العالي للاشعاع
والسيطرة على طرح النفايات المشعة.

ص - انشاء مجموعة الفيزياء الصحية (Health Physics group)

لغرض التأكد من تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع من قبل ادارة المنشأة يجب ان تكون مجموعة الفيزياء الصحية مطلعة على تصاميم المشروع وعن السلامة الاشعاعية الخاصة بالتشغيل بالاضافة الى ذلك فان مسؤول الفيزياء الصحية يجب ان يكون موقعة الاداري بمستوى يؤهله لاعطاء المشورة الى الادارة حول كفاءة برنامج الوقاية من الاشعاع وان يكون اتصاله الاداري بمستوى السلطة يساعد على وضع وتطبيق اساليب السلامة. ان بعض برامج الوقاية من الاشعاع تتيح لمجموعة الفيزياء الصحية المسؤولية المباشرة لضمان ان تعرض العاملين في حقول الاشعاع سوف يتبع مبدأ ALARA (يكون التعرض الى الاشعاع على اقل ما يمكن الحصول عليه منطقيا) بينما في برامج اخرى تعطى مسؤولية للعاملين للحد من تعرضهم. وتقوم مجموعة الفيزياء الصحية بمراقبتهم وابداء المشورة لهم.

ان واجبات ومسؤوليات مجموعة الفيزياء الصحية ربما تتفاوت بصورة واسعة مع تنظيم المنشآت والقوانين السائدة ومع هذا فانه في تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع تكون مسؤولية وواجبات مجموعة الفيزياء الصحية تتضمن اعتياديا ما يلي :-

- 1- القيام بالترتيبات اللازمة لمراقبة تعرض العاملين الخارجي والداخلي للاشعاع ومراقبة الاشعاع في الموقع.
- 2- تحديد وتصنيف مناطق العمل ومراقبتها بصورة دورية
- 3- القيام بوضع الحدود المصلية والمستويات على ضوء الخبرة المكتسبة وحسب متطلبات السلطات المسؤولة التي تنطبق على تعرض العاملين الداخلي والخارجي للاشعاع
- 4- مراقبة تطبيق التوصيات الطبية الخاصة بالعاملين في موقع المنشأة النووية وابلاغ ادارة المنشأة عن مخالفة ذلك
- 5- مراقبة تنفيذ العاملين في المنشأة النووية لقواعد الوقاية من الاشعاع
- 6- المساهمة في وضع الخطط الخاصة بالفعاليات التي ربما ينتج عنها تعرض

- العاملين في المنشأة الى حدود تفوق الحدود المصدرية الموضوعة
- 7- التأكد من ان التعليمات الخاصة بتداول النفايات المشعة مطبقة
 - 8- المساهمة بدراسة تعرض الافراد للاشعاع بجرع اشعاعية تفوق الحدود المسموح بها في الحالات غير الاعتيادية والطوارئ
 - 9- ايصال المعلومات بصورة سريعة وملائمة وهي الخاصة بالمشاكل التي لها تأثير في السلامة الاشعاعية الملاحظة خلال انشاء وبدء واستمرار التشغيل بحيث يمكن تنفيذ التغيرات المرغوبة والتحسينات
 - 10- تحضير والمحافظة على جميع السجلات الخاصة ببرنامج الوقاية من الاشعاع.
 - 11- ابلاغ ادارة المنشأة عن اية جرعة شخصية تتجاوز الجرعة المحددة
 - 12- وضع برنامج لمراقبة البيئة والتأكد من تنفيذه قبل التشغيل واثناء التشغيل
 - 13- وضع حدود مصدرية مشتقة لطرح المواد المشعة في البيئة على ضوء خواص الموقع واستنادا الى متطلبات السلطات المختصة
 - 14- تثبيت طرائق عمل خاصة بالوقاية من الاشعاع والاستثمارات الخاصة بذلك
 - 15- وضع ظوابط عمل واجهزة الوقاية اللازمة للاعمال في حقول الاشعاع
 - 16- وضع اسس التعامل مع المواد المشعة وخزنها في الموقع
 - 17- التعاون مع الجهات المسؤولة لوضع سياقات الطوارئ والتحضير لهذه الحالات والمساهمة بتنفيذها
 - 18- توفير الاجهزة بالاعداد الكافية والخاصة بقياس الجرعة الشخصية والكشف عن الاشعاع والقياسات والتحليل
 - 19- تحديد وتوفير الاجهزة الخاصة بالطوارئ لاجراض الوقاية من الاشعاع
 - 20- اختيار وتدريب كادر الفيزياء الصحية
 - 21- تدريب جميع كوادر المنشأة الفوقية حول اساليب الوقاية من الاشعاع

واجراءاتها كل حسب عمله وتوفير المعلومات الخاصة بالتدريب
22 - مراجعة المستويات المصدرية لتعرض العاملين في حقول الاشعاع
ولطرح النفايات المشعة على ضوء الخبرة والتجربة المتراكمة ومواكبة التطورات
العالمية

2.4.8 النواحي العملية الخاصة لتطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع

ان نظام تحديد الجرعة يتطلب الاخذ بنظر الاعتبار الوقاية من الاشعاع
خلال التصميم والتشغيل لغرض الحفاظ على الجرعة الاشعاعية اقل ما يمكن
مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية ولغرض الوصول الى
هذا الهدف يجب دراسة اساليب العمل والفعاليات من ناحية امكانية تقليل
الجرعة الناتجة من تلك الفعاليات

1 - طرائق تخفيض الجرعة عند التصميم

أ - تقليل مستوى الاشعاع في مناطق العمل بواسطة اخذ هذا العامل بنظر
الاعتبار عند تصميم المنشأة وذلك بواسطة اختيار المواد وتوفير التدريع
(Shielding)

ب - تقليل التلوث السطحي والتلوث المحمول جوا وذلك عن طريق
التصاميم وعن طريق اساليب السيطرة.

ج - تقليل زمن تعرض العاملين بواسطة اختيار المكونات واختيار طرائق
العمل والتدريب على الادامة.

2 - طرائق تخفيض الجرعة عند التشغيل

بالإضافة الى ذلك فان من الممكن اتباع طرائق اخرى خلال مرحلة التشغيل تؤخذ بنظر الاعتبار اية خواص للسلامة وفرت عن طريق التصميم .
ان مثل هذه الطرائق تتضمن :

أ - الاستعمال المناسب للأجهزة الذاتية والأجهزة التي يسيطر عليها من بعيد (Remote - controlled equipments) .

ب - استعمال الدروع الواقية المؤقتة .

ج - اعداد طرائق العمل والأدماة بصورة جيدة .

د - اعداد اساليب السيطرة على التلوث الاشعاعي .

هـ - اصدار تصاريح العمل .

و - التدريب الاساسي واعادة التدريب الدوري المتعلق باخطار الاشعاع والوقاية من الاشعاع بالإضافة الى التدريب الخاص للأعمال المحددة مثل التمارين على الاساليب .

ان اساليب السيطرة الاشعاعية تتضمن تصنيف العاملين في حقول الاشعاع الذين هم في موقع المنشأة النووية وتصنيف مساحات الموقع استنادا الى الحالة الاشعاعية التي ربما تكون موجودة . ان اساليب السيطرة هذه توفر السبل لكي يكون الاشراف (Surveillance) والمراقبة (Monitoring) للعاملين في حقول الاشعاع متوفرين عندما تكون هنالك ضرورة لذلك ولغرض السيطرة على الدخول الى المناطق التي ربما يحدث فيها تعرض للاشعاع .

ان تعاون العاملين في حقول الاشعاع وتفهمهم للوقاية من الاشعاع يعتبر ذا اهمية اساسية لغرض الوصول الى هدف تقليل تعرض العاملين^(١) الوظيفي الى الاشعاع .

3- تصنيف ظروف العمل

لغرض تطبيق المبادئ الأساسية للوقاية من الاشعاع فانه يتميز نوعان من ظروف العمل الوظيفي في حقول الاشعاع وهما

1 - ظروف العمل آ

- وهي الظروف التي ربما يزيد التعرض السنوي للاشعاع فيها على 3/10 من حدود مكافئ الجرعة. ان العاملين تحت ظروف هذه الاعمال سوف يكونون خاضعين للمراقبة الطبية والتقدير الفردي لمكافئ الجرعة. ان تقدير مكافئ الجرعة يتم بواسطة مراقبة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي للاشعاع كلما كان ذلك مناسباً وقد يحدث ان هذه المراقبة تتم بالطرائق غير المباشرة.

2- ظروف العمل ب

وهي الظروف التي يكون احتمال تجاوز التعرض السنوي 3/10 مكافئ الجرعة ضئيلاً جداً.

لا يجوز السماح بالدخول للعاملين او الطلاب او المتدربين ممن تقل اعمارهم عن 18 سنة الى المناطق التي تسود فيها ظروف العمل آ. يسمح للعاملين والطلاب والمتدربين الذين تتراوح اعمارهم بين 16 - 18 سنة بالعمل في المناطق التي تسود فيها ظروف العمل ب. لا يمكن اعتبار اي شخص يقل عمره عن 16 سنة عاملاً في حقول الاشعاع لاغراض مبادئ الوقاية من الاشعاع.

عندما يكون مصدر التعرض مرتبط بالعمل او عندما يكون العمل في منشآت لا تحتوي على مصادر اشعاعية تعطي تعرضاً فانه تنطبق في هذه الحالات الحدود الموضوعة للسكان.

4 تصنيف العاملين في حقول الاشعاع

لغرض تبسيط الترتيبات الخاصة بالاشراف الطبي (Medical supervision) والمراقبة الفردية (Individual monitoring) فإنه قد يكون مناسباً تصنيف العاملين وعلى سبيل المثال فإن ذلك قد يمكن ان يتم وفق ظروف العمل الذي يقومون به وفي التطبيق فإنه قد يتم كذلك فيها يخص المناطق التي يعملون فيها ونوع العمل الذي يقومون به وإذا كان تقدير ذلك معتمداً عليه بما فيه الكفاية وكذلك الزمن المستغرق في مثل هذه المناطق.

ان العاملين الذين يطلبون للعمل في حقول الاشعاع في المناسبات فقط مثل اعمال الصيانة والتصليح يجب ان تنطبق عليهم نفس المتطلبات التي تنطبق على العاملين في حقول الاشعاع بصورة منتظمة والخاصة بالمراقبة وتسجيل الجرعة والاشراف الطبي. كما يجب ان يعطوا تعليمات مناسبة حول الوقاية من المخاطر الاشعاعية المتضمنة. ويجب التأكد من ان الوقاية المتوفرة لهؤلاء العاملين في المناسبات تكون بنفس الجودة للوقاية من الاشعاع المتاحة للعاملين بصورة منتظمة في حقول الاشعاع وان تعرض هؤلاء يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار في التخطيط النهائي للوصول الى الحالة المثلى للوقاية من الاشعاع في المنشأة النووية. ان العاملين في موقع المنشأة النووية في المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة ربما يصنفون على النحو الآتي:

أ - الاشخاص الذين من المحتمل ان يتسلموا مكافئ جرعة مؤثرة تتجاوز جزءاً معيناً محدداً من قبل السلطات المسؤولة لحدود مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية [ان هذا الجزء يبلغ $3/10$ من حدود مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية للتعرض الوظيفي والتي تبلغ 50 mSv (5rem) . ولقد اوصت هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق بنفس هذا التصنيف؛ ان هؤلاء العاملين يجب ان يوفر لهم الاشراف الطبي الملائم وان توفر لهم المراقبة الفردية.

ب - العاملين في حقول الاشعاع الذي تكون احتمالية تجاوزهم لجزء معين من مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية المخصص للمجموعة التي في أ ضئيلة جداً. ان هؤلاء الاشخاص سوف لا يندرجون بالمراقبة الفردية.

لا توجد هنالك ضرورة فيما يخص الاشخاص الذين في موقع المنشأة النووية والذين لا يعملون في المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة لوضع ترتيبات خاصة للوقاية من الاشعاع .
يجب الاحتفاظ بسجلات الجرعة لكل الاشخاص الذين رقبوا كما هو وارد هنا حسب متطلبات السلطات المسؤولة .

5. حساب الجرعة

يجب ان تكون هنالك طريقة حفظ سجلات الجرعة فيما يخص الاشخاص الذين يعملون في المناطق المراقبة لمنشآت متعددة. ان على عاتق السلطات المسؤولة (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلا) وضع الاساليب التي تمكن ذلك . ان هذه السجلات تمكن ان تساعد في
أ - معرفة العاملين في حقول الاشعاع والادارات التي يعملون ضمنها بمكافئ الجرعة الفردية المتسلمة خلال القيام بالعمل في المنشآت المختلفة .
ب - معرفة ادارة كل منشأة تشغل هؤلاء العاملين بمكافئ الجرعة الفردية هؤلاء العاملين للسنة التي يشتغلون فيها من بداية عملهم وتلك المتسلمة خلال عملهم في هذه المنشآت . ويجب اعطاء المعلومات الى العاملين حول الجرعة الاشعاعية التي تسلموها كما انه يجب الاحتفاظ بتقديرات الجرعة الفردية لمدة لا تقل عن 30 سنة من تاريخ التوقف عن العمل في حقول الاشعاع المؤين او الفترة التي تحدد من قبل السلطات المسؤولة .

ان حدود مكافئ الجرعة وحدود مكافئ الجرعة المؤثرة للطلاب والمتدربين الذين اخذوا دروسا في الاشعاع واستعمالاته تشابه الحدود الموضوعة للعاملين في حقول الاشعاع . ان وقاية المتدربين والطلاب يجب ان تتم كما هي الحالة للعاملين وظيفيا في حقول الاشعاع وان المراقبة الفردية والاشراف الطبيين في كل الحالات .

اما المتدربون والطلاب الذين لا يأخذون دروسا متعلقة بالاشعاع واستعمالاته فان حدود مكافئ الجرعة وحدود مكافئ الجرعة المؤثرة لهم سوف تكون مساوية الى افراد المجتمع ومع هذا فان المساهمة في مكافئ الجرعة السنوية ومكافئ الجرعة المؤثرة السنوية التي لها علاقة بتدريبهم او دراستهم يجب ان لا تزيد عن 1/10 هذا الحدود.

ان مراقبة جرعة الافراد يجب ان تخضع لمتطلبات السلطات المسؤولة. ان المراقبة يجب ان توفر للعاملين في الصنف (أ) وانه لا تكون بصورة عامة ضرورية للعاملين في الصنف (ب) من العاملين في مواقع المنشآت النووية. ان الاشخاص من الصنف (أ) او الصنف (ب) الذين يدخلون الى المناطق المراقبة (Controlled area) يجب ان يزودوا بواحد او اكثر من مقاييس الجرعة. اما الاشخاص الذين يدخلون المناطق المراقبة بصورة قليلة مثل الزوار او العاملين في الموقع من غير صنف (أ) وصنف (ب) فأنهم لا يحتاجون الى مراقبة فردية. ان الجرعة الى العاملين في الموقع يجب ان تفحص بواسطة مراقبة الاشخاص ومواقع العمل بطريقة مناسبة. وعندما يتسلم الافراد اشعاعا خارجيا وان الاشعاع يكون موزعا بصورة منتظمة على جسمه فان قراءة مقياس الجرعة الشخصية المحمول على الجسم بصورة ملائمة ربما يؤخذ على انه يمثل مكافئ الجرعة المؤثرة وفي حالة المعرفة او الشك بان التعرض الخارجي للفرد يكون غير منتظم بدرجة كبيرة فانه يتطلب تقديرا خاصا للجرعة لذلك الجزء من الجسم. ان ذلك يتطلب مقياس جرعة اضافي يحمل في مناطق مناسبة من الجسم [مقياس جرعة الوميض الحراري (TLD) مثلا] ان الافراد العاملين في الموقع الذين يعملون في ظروف يتوقع ان يحدث عنها تعرض خارجي ملموس يجب ان يراقبوا بصورة ملائمة. ان هذه المراقبة يجب ان تتم بصورة روتينية او بصورة متقطعة استنادا الى ظروف العمل. ان التلوث الداخلي يجب ان يخمن بالطريقة المباشرة كلما كان ذلك ممكنا وذلك باستعمال الـ Bioassay وعداد عموم الجسم (Whole body counting) او حساب الفعالية في جزء من الجسم كالغدة الدرقية او الرئة واذا لم يكن ممكنا القيام بمثل

هذه القياسات انياً فان طرائق اخرى تستند الى حسابات التناول يجب ان تستعمل بصفة تقريب. ان نتائج هذه المراقبة يجب ان تقدر بواسطة مقارنة التناول مع وحدود التناول السنوية او بواسطة حساب مكافئ الجرعة (Commitment dose equivalents) وفي حالة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي مجتمعاً فانه من الممكن مقارنة ذلك حسب ما جاء بتوصيات الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع ICRP Publication 26 لسنة 1977 (المصدر 48) ومبادئ الوقاية الاساسية من الاشعاع (Basic Safety Standard For Radiation Protection) لعام 1982 (المصدر 44) ان الافلام او الزجاج (RPL) او مقاييس جرعة الوميض الحرارية (TLD) هي انواع مقاييس الاشعاع المحمولة كاجهزة قياسية لغرض مراقبة وقياس الجرعة الفردية الناتجة من الاشعاع الخارجي. ان هذه تستعمل لحساب مكافئ الجرعة مع قراءات تكاملية لفترة زمنية تكاملية (المصدر 41)

ولغرض تقدير الجرعة ومن ثم السيطرة عليها خلال القيام بعمل معين فان مقاييس الجرعة الاساسية هذه يمكن ان تعضد كلما كان ذلك مناسباً بمقاييس جرعة فترات قصيرة (Short-term dosimeters) عادة من نوع القراءة المباشرة مثل افلام قياس مستوى الاشعاع (Electrometers) وفي بعض الحالات يفضل استعمال اجهزة معدل جرعة فردية (Personnel dose rate devices) او منبهات جرعة (Dose-alarm devices) يكون لها منبه واضح ويكون لها مقياس رقمي (Digital display) للجرعة المتراكمة بدلا من مقاييس الجرعة ذات القراءة الانية البسيطة.

ان مقاييس الجرعة هذه يجب ان تحمل بطريقة تعطي قراءات ذات معنى للتعرض المقيس (تعرض عموم الجسم او الايدي) ان مقاييس الجرعة المختارة يجب ان تكون قابلة للاستجابة لنوع او انواع الاشعاع اللازم قياسه وان هذه الاستجابة يجب ان لا تكون متأثرة بالعوامل البيئية الاخرى. كما ان حساسيتها يجب ان تكون بدرجة تقل كثيرا من المستوى المصدري الذي يلزم قياسه. ان مقاييس الجرعة تختار عادة لتغطية جميع مجال التعرض المهني. ان مقاييس الجرعة

ذات المجال الاوسع يجب ان تستعمل عندما يكون معدل الجرعة عاليا او عندما تكون هنالك خطورة عالية للتعرض العالي الناتج من الحوادث. ان دقتها يجب ان تكون مناسبة للمقاييس الموضوعية او للمتطلبات.

ويجب ان يتم تشخيصها بصورة مفردة وان تحفظ سجلات مناسبة حول تاريخ اعطائها.

وعندما تسمح اساليب العمل الموضوعية لبعض الاشخاص كالزوار بالدخول الى المناطق المسيطر عليها دون حمل مقياس جرعة فردي فان الجرعة المتسلمة من قبل هؤلاء الاشخاص يمكن ان تخمن اما على ضوء معدل الجرعة والزمن المستغرق في الزيارة للمناطق المختلفة او بواسطة الاستناد الى مقياس الجرعة للشخص المرافق لهم.

ان تقدير الجرعة الناتجة من مقياس الجرعة لفترة طويلة يجب ان يتم من قبل مؤسسة مخولة (مركز رعاية صحية او مختبر مركزي ضمن المنشأة او مؤسسة تجارية معترف بها) ويقوم بذلك مركزيا في العراق مركز الوقاية من الاشعاع ما عدا بعض الاستثناءات.

ان مقياس الجرعة لفترة طويلة يجري تقديرها عادة مرة واحدة كل عدة اسابيع ولكن في حالة المعرفة او الشك بتجاوز الحدود المسموح بها او التعرض العالي للاشعاع فانه يمكن تقدير مقياس الجرعة كلما كان ذلك عمليا.

واذا فقد مقياس الجرعة ذو الوقت الطويل للشخص قبل ان يتم تسجيل تعرضه او اذا كانت المعلومات المتوفرة تجلب الشك لاي سبب فانه من الضروري تخمين جرعة التعرض الخارجي باستعمال كل المعلومات المتاحة التي يمكن ان تتضمن

1- جمع قراءات مقياس الجرعة لفترة قصيرة لتلك الفترة.

2- القيام بالحسابات على اساس معرفة المجال الاشعاعي (معدل الجرعة) وزمن البقاء (زمن التعرض) والتقديرات المستندة على العمل المقضي وعلى قراءات مقياس الجرعة للأشخاص الآخرين. الحاضرين.

- 3 - الفحص الطبي مثل فحص مكونات الدم او انسجة الجسم (ان هذه توفر معلومات ذات معنى فقط في حالة الشك بالتعرض العالي للاشعاع).
- 4 - الاساليب الاخرى المطلوبة من قبل القانون او السلطات المسؤولة.

5.8 المراقبة الطبية للعاملين (Medical Surveillance)

ان على عاتق ادارة المنشأة النووية توفير الرعاية الطبية للعاملين والتأكد من تنفيذ البرنامج الخاص بذلك. ان مثل هذه الرعاية الطبية للعاملين المعرضين الى الاشعاع تستند الى المبادئ العامة للطب المهني (Occupational medicine) وهي تأخذ بنظر الاعتبار ظروف التعرض السابقة والحالية للمواد الكيميائية السامة والى الظروف الفيزيائية الخطرة المحتملة. ان اي عامل في حقل الاشعاع لا يجوز ان يعمل خلافا لمشورة طبية مؤهلة.

ان الغرض من الاشراف الطبي ليس اثبات كفاءة برنامج الوقاية من الاشعاع.

ان على ادارة المنشأة النووية وباستشارة الطبيب المختص ان تقوم باتخاذ الاجراءات اللازمة لارسال الشخص المتعرض الى الاشعاع او الى التلوث بالمواد المشعة او انه يشك بانه قد تجاوز الحدود السنوية الى المؤسسات الطبية في مرحلة مناسبة. ان هذه الترتيبات يجب ان تعرف بوضوح وان تكون معلومة من قبل السلطات المسؤولة والعاملين.

ان سجلات نتائج الفحوصات الطبية يجب ان تتضمن كل المعلومات اللازمة لتقدير صحة العاملين.

ان التأثيرات الضارة لم تثبت بصورة مؤكدة ملازمتها للتعرض ضمن حدود مكافئ الجرعة. وفي حالة الشك او معرفة بان هذه الحدود قد تم تجاوزها نتيجة التعرض الى جرعة عالية فان الاشراف الطبي يمكن ان يؤدي دورا مؤكدا في تقدير التعرض العالي وان يقوم بالتوصية بالعلاج الطبي المناسب. ان اغراض الاشراف الطبي للعاملين يتضمن مايلي

1- تقدير صحة الافراد العاملين في حقول الاشعاع .
2 - المساعدة في التأكد في البداية وبصورة مستمرة ملائمة صحة الافراد لظروف عملهم .

3 - اعطاء معلومات اساسية (Base line information) تكون مفيدة في حالة التعرض الوظيفي او النابع عن الحوادث للاشعاع .

ان الاشراف الطبي يتضمن الفحص قبل التنسيب للعمل في مناطق الاشعاع وبعدها الفحوصات الروتينية التي تلي ذلك .ان على ادارة المنشأة النووية الاستفادة من خدمات طبيب درب بصورة خاصة في الطب الصناعي والطب الاشعاعي والذي اجيز من قبل السلطات المسؤولة لاعطاء النصيحة والاشراف على الفحوصات الطبية ومعالجة اي شخص متعلق بحادثة اشعاعية . ان الطبيب المعين في المنشأة النووية يجب ان يكون قادراً على الوصول الى المعلومات ويتضمن ذلك الوصف المفصل اللازم للتأكد من ان صحة العاملين تحت المراقبة ولغرض تقدير ظروف البيئة في مناطق العمل التي ربما يؤثر في صحة العاملين . ان على ادارة المنشأة النووية التأكد ان الفحوصات الوظيفية الطبية العامة خلال فترة التوظيف قد تمت بصورة دورية وعند ايقاف التوظيف لتلك الظروف المحددة من قبل السلطات المختصة وعندما يشك بحدوث مرض جراء الوظيفة فان الرعاية الطبية يجب ان توفر بصورة مناسبة .

ان الرعاية الطبية الخاصة ربما يحتاج لها كما هو موضح من قبل السلطات المسؤولة تحت ظروف العمل (آ) وبالاتناد الى ظروف عمل هذه المجموعة . ان مثل هذا النوع من الفحص يجب ان لا يكون سبباً للتعويض عن اي جزء من المراقبة الفيزيائية وان لا يؤدي اي دور للتأكد من فعالية برنامج الوقاية من الاشعاع . ان احد اهداف الفحص الطبي هو تحديد الظروف او الخواص التي ربما تتطلب تحديدات اخرى تطبق على نوع التعرض المتسلم من قبل العاملين . وفي هذا الفحص فانه يجب ان يهتم بصورة خاصة بالتاريخ الطبي

للافراد ويتضمن التعرض التشخيصي والعلاجي الى الاشعاع ولغرض تمييز الظروف التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار للحد من تعرضه للاشعاع او تنسيبه للعمل.

ان الطبيب المشرف يقوم بتقدير الحاجة الى استعمال الملابس الواقية واجهزة التنفس للأشخاص الذين تتطلب واجباتهم ذلك كعلاقة ذلك باهليتهم الطبية للعمل.

وبصورة عامة فان المعلومات الطبية الخاصة حول الافراد تكون سرية ولكن مع هذا فان الطبيب يجب ان يثبت (Sertify) لادارة المنشأة النووية ما اذا كان العامل في حقل الاشعاع مؤهلا طبيا للقيام بالعمل وفق متطلبات السلطات المختصة (في العراق تقوم اللجنة الطبية المؤلفة بموجب القانون رقم 99 لسنة 1980 بهذا الغرض).

6.8 تصنيف مناطق العمل (Classification of site area)

ان جميع مناطق موقع المنشأة النووية التي يؤدي الاشغال المستمر فيها خلال عمليات التشغيل الاعتيادية او عمليات التشغيل المؤقتة التي يكون التعرض فيها بما يزيد عن القيم المحددة من قبل السلطات المسؤولة يجب ان تحدد وان تصنف بطريقة مناسبة حسب متطلبات السلطات المسؤولة التي تبلغ عادة $1/10$ حدود مكافئ الجرعة للتعرض المهني (5 mSv) اي 0.5 rem سنويا ان تصنيف مناطق العمل يعتمد على التعرض المحتمل للاشعاع وعلى مقدار المحاذير والمراقبة بالاضافة الى نوعيتها وطرازها الذي يجب ان يكون ملائما من ناحية المقدار والطبيعة الخاصة للتعرض الى الاشعاع المرافق للعمل.

1.6.8 المناطق المسيطر عليها (Controlled area)

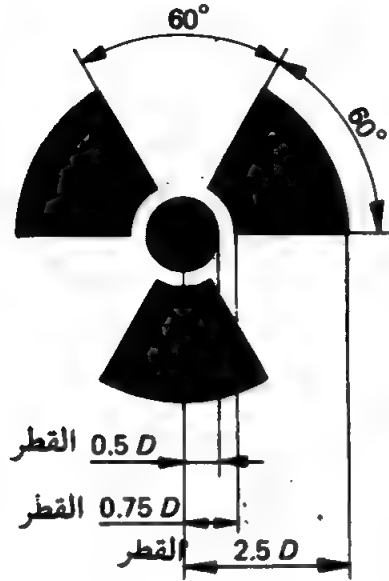
وهي المناطق التي يحتمل ان يتجاوز فيها التعرض الوظيفي جزءاً معيناً يبلغ $3/10$ حدود مكافئ الجرعة السنوية الموصى بها للتعرض المهني والبالغة 50mSv (5rem) سنوياً. ان دخول العاملين الى هذه المناطق المسيطر عليها يكون عرضة لتعليقات التشغيل. ان تحديد هذه المناطق يجب ان يستفيد من الحدود الهيكلية عادة التي تتوفر فيها ظروف العمل الاشعاعي الواردة في التحديد. ان باستطاعة ادارة المنشأة النووية تمديد حدود المناطق المسيطر عليها الى اي مدى تعتقد انه ضروري وعملي. ان احداث سبب عمل ذلك هو تقليل عدد المناطق المسيطر عليها ومن ثم تأمين ادارة ناجحة لبرنامج الوقاية من الاشعاع.

ان الهدف الاساسي من تسمية المناطق المسيطر عليها هو التأكد من ان الاشخاص يسمح لهم بالدخول فقط عندما يخضعون للطرائق المتعلقة بمراقبتهم بصورة مناسبة وعندما يكون ذلك ضروريا فان تعرضهم يمكن ان يحدد عن طريق تحديد فترة تواجدهم. وفي بعض اماكن المنطقة المسيطر عليها فان اطاعة الحدود الموضوعة يمكن ان يحصل عليها فقط عن طريق تحديد الزمن المقتضي في تلك الاماكن او بواسطة استعمال بعض الاجهزة الوقائية. ولهذا فانه يصبح مناسباً تعريف المساحات (Zones) لرتب متعددة ضمن المنطقة المسيطر عليها. ان بعض هذه المساحات تتطلب شروطاً مفصلة للدخول. ان الدخول الى هذه المناطق يمكن ان ينظم عن طريق الادارة بواسطة اصدار تصاريح عمل في حقول الاشعاع.

ان المناطق المسيطر عليها يمكن ان تعلم بعلامات تحذيرية موضوعة في المدخل وضمن المنطقة. ان هذه العلامات التحذيرية تتضمن:

- 1- الرمز الاساسي الذي في الشكل (2.8) الذي يرمز الى الاحتمال او الوجود الفعلي للاشعاع المؤين.

2 - كتابات اضافية او الوان او رموز ربما تكون مطلوبة للدلالة بطريقة مفهومة من قبل كل المعنيين على مقدار وطبيعة الخطر من التعرض .



الشكل 2.8 رمز الاشعاع المؤين
المصدر IAEA (1982) 44

اسس تحديد المناطق المسيطر عليها

هناك اساليب مختلفة تتبع في بعض البلدان وكذلك ايضا هناك خبرة مختلفة وتصميم منشآت مختلف ولهذا فان انواعا من المساحات سوف تكون مختلفة تبعا لذلك . ان احد الامثلة على السيطرة على المساحات المختلفة ربما يتم تحديده على النحو الاتي :

1 - المساحات الملوثة (Contaminated zones)

حيث تتطلب الحاجة اجراءات وقائية خاصة بسبب وجود تلوث او

التلوث السطحي غير المستقر الزائد عن المستوى المصدري (المستوى الذي تحته يعتبر التلوث الداخلي ضئيلاً)

2- المساحة الاشعاعية 3 (Radiation zone 3)

حيث يمنع الدخول اعتيادياً بسبب الاشعاع العالي او التلوث ولكن ربما يسمح به تحت ظروف خاصة (ايقاف المفاعل) الذي يحدد بتعليمات التشغيل

3- المساحة الاشعاعية 2 (Radiation zone 2)

حيث يتم التأكد من اطاعة حدود الجرعة للتعرض الخارجي فقط بواسطة الحد من زمن العمل.

4 مساحة الاشعاع (Radiation zone 1)

جميع المناطق الاخرى ضمن المنطقة المسيطر عليها.

العمل في المناطق المسيطر عليها

ان المناطق المسيطر عليها ومناطق الاشعاع والتلوث المختلفة يجب ان تحدد بوسائل مختلفة بحيث ان الشخص الذي يعبر حدود مساحة سوف يعرف فوراً بأنه يدخل مساحة اخرى يكون فيها مستوى الاشعاع والتلوث مختلفاً وفي مواقع مناسبة في مدخل كل مساحة يجب ان توضع اشارات تحذيرية تنص على مستوى الاشعاع ومستوى التلوث وتصنيف المساحة والمتطلبات الضرورية للدخول. كما ان الخروج من المناطق المسيطر عليها يجب ان يوضع ويؤشر بصورة كافية بالاضافة الى تعليمات مناسبة وملاحظات تفاهير الاتجاه الى الخروج الاضطراري وان متطلبات المغادرة الضرورية يجب ان تحدد ويضمنها كلاً كان ذلك مناسباً طرائق فحص التلوث للأشخاص وازالة التلوث.

المراقبة الفيزيائية (Physical surveillance)

ان على ادارة المنشأة النووية وضع نظام للمراقبة الفيزيائية لمعرفة الاجراءات الاحترازية التي يجب ان تتخذ للتأكد من الخضوع لنظام تحديد الجرعة ولغرض تقدير كفاءة الاجراءات الاحترازية المتخذة كما ان انظمة

المراقبة والكشف يجب ان تخضع للمراجعة دوريا على ضوء الخبرة او في حالة اية تحويرات في اجراءات العمل ومن ضمنها المنشآت الجديدة او المحورة بالاضافة الى طرائق العمل المحورة او الجديدة لغرض التأكد من انها تحقق نفس الاهداف. ان مقدار الاجراءات الوقائية للوقاية من الاشعاع المتخذة يجب ان تحسب بواسطة الخطر المحتمل.

التفتيش والتدخل (Inspection and intervention)

يجب ان يوضع نظام تفتيش موضع التنفيذ من قبل السلطات المختصة لغرض الاشراف على اجراءات السلامة الاحترازية اللازمة لاطاعة المقاييس الموضوعية.

كما ان اي حالة ينتج عنها او يحتمل ان ينتج عنها جرع اشعاعية تتجاوز الحدود الموضوعية يجب ان تبلغ عنها الجهات المختصة. ان السلطات المسؤولة سوف يكون لها القوة للتدخل في حالة عدم اتباع الحدود الموضوعية. وتتضمن المراقبة الفيزيائية للمناطق المسيطر عليها ما يلي :

- 1- التقديرات لاغراض الموافقة على مصادر جديدة او طرائق عمل جديدة او تحوير المصادر او طرائق العمل الموجودة من ناحية الوقاية من الاشعاع.
- 2- التأكد من انه قبل الافتتاح (Commissioning) او بدء العمل على مصدر جديد او طريقة جديدة بانها تخضع الى الفرضيات التي حصلت الموافقة عليها وان اجراءات الوقاية من الاشعاع المناسبة قد تم توفيرها.
- 3- فحص فعالية الترتيبات الادارية المتخذة للوصول الى الوقاية وتوفير تطبيق التعليمات اللازمة للعمل.
- 4- تقدير الكفاءة المستمرة لطرائق العمل والى فعالية اجهزة الوقاية.
- 5- فحص الاداء والاستعمال الصحيح لجميع الاجهزة ذات العلاقة.
- 6- تقدير مستويات التعرض والتلوث في مواقع مناسبة ضمن المنشأة ويضمنها معرفة طبيعة ومقدار الاشعاع المعني.
- 7- توفير المراقبة المفردة للذين يعملون في ظروف العمل (أ).

ان متطلبات الدخول الى المناطق المسيطر عليها تشمل ما يلي

أ- الحصول على تخويل من ادارة المنشأة النووية بالدخول او الحصول على تصريح عمل اشعاعي (Radiation work permit) في حالة تطلب ذلك .

ب- توفر الاشخاص المرافقين والاجهزة وكواشف مراقبة المنطقة .

ج- ارتداء الملابس الواقية لتوفير الوقاية من التلوث .

د- الاجراءات الخاصة بالازالة السليمة للمواد الملوثة او المنشطة لغرض تقليل

تعرض العاملين فان مناطق وطرق دخول محلات العمل يجب ان تحدد مسبقا

وان تؤثر بصورة عملية .

ان مناطق تغيير الملابس يجب ان توفر عند مداخل هذه المناطق حيث

يوجد التلوث او ربما يحتمل . ويجب ان تصمم لغرض منع انتشار التلوث

بواسطة التقسيم الى الجهة النظيفة والجهة المحتملة التلوث . ان المنشآت الموفرة

يجب ان تتضمن بعض او جميع ما يلي كلما كان ذلك مناسباً .

1- محلات تغيير الملابس لغرض لبس الملابس النظيفة .

2- اوعية للملابس الملوثة .

3- اجهزة لمراقبة التلوث الذي على الملابس والجلد وسطح الجسم .

4- منشآت ازالة تلوث الاشخاص مثل احواض الغسل والحمامات

والتجهيزات والاجهزة .

5- حاجز فيزيائي للفصل بين الجانب النظيف من الجانب المحتمل تلوثه

ويجب اتخاذ الاجراءات الكفيلة للسيطرة على الاشخاص الذين يغادرون

المناطق المسيطر عليها للتأكد من ان ملابسهم وسطوح اجسامهم تكون اقل

من مستوى تلوث معين ولكن في حالة عدم امكانية ازالة تلوث الى ذلك

المستوى لا يمكن الوصول اليها في المناطق المسيطر عليها فانه يجب اتخاذ ازالة

تلوث خاصة او عندما يتطلب الامر رعاية طبية خاصة فان المغادرة يجب ان تتم

وفق اساليب محددة .

نقل المواد من المناطق المسيطر عليها

ان جميع المواد يجب ان تراقب اشعاعيا قبل ازالتها من اي منطقة ملوثة وفي اي حالة قبل ازالتها من المناطق المسيطر عليها وانه يجب اتخاذ الاجراءات المناسبة لغرض التأكد من السلامة الاشعاعية. كما ان المنشآت الخاصة بازالة تلوث المكونات والعدد والاجهزة يجب ان توفر في المنشأة النووية. ان بعض المنشآت مثل غرف الخزن والورش الميكانيكية الصغيرة يجب ان توفر في المناطق المسيطر عليها لتقليل الحاجة لاتخاذ الاجراءات الاحترازية الخاصة اللازمة لازالة المواد الملوثة الى المناطق غير المسيطر عليها لازالة تلوثها مع توفير محل لغسل الملابس الواقية في المنطقة. غير المسيطر عليها اذ يجب ان تجهز للقيام بمعاملة اكبر كمية من الملابس المتوقعة والملابس التي تكون مستويات تلوثها متقاربة يجب ان تغسل سوية وان تراقب لغرض التأكد من ان التلوث المتبقي على الملابس النظيفة يكون مقبولا ويعامل ماء الغسل الناتج على انه مواد مشعة سائلة.

تقدير الجرعة الاشعاعية

- ان تقدير الجرعة الاشعاعية والتناول المتسلم من قبل العاملين في المناطق المسيطر عليها يجب ان يعمل على النحو الاتي
- 1- ان الجرعة المتسلمة من التعرض الخارجي يجب ان تقدر بواسطة استعمال واحد او اكثر من كواشف الاشعاع الفردية اذا كان ذلك ضروريا يحمل بصورة مستمرة بواسطة الاشخاص العاملين في ظروف العمل (أ).
 - 2- ان الجرعة المتسلمة من التعرض الداخلي يجب ان تقدر اذا كان ذلك ضروريا بطرائق مناسبة تمكن من تقدير تناول المواد المشعة كما ان تكرار التقدير يجب ان يحسب ضمن البرنامج الموضوع للاستجابة الى متطلبات السلامة الاساسية للوقاية من الاشعاع.
 - 3- يجب تبليغ كل عامل عن مكافئ الجرعة المتسلمة من قبله.

2.6.8 المناطق المراقبة (Supervised areas)

ان من المناسب في بعض الاحيان تعيين المناطق المراقبة حيث انه يجب مراقبة البيئة في هذه المناطق كما ان حدود المناطق المراقبة يجب ان تختار بحيث ان مكافئ الجرعة السنوية خارج المناطق المراقبة من غير المحتمل جدا ان يتجاوز $1/10$ الحدود المهنية للجرعة او $3/10$. ان المتطلب الوحيد للوقاية من الاشعاع في هذه المنطقة هو المراقبة الفردية للعاملين من الصنف (أ). ولغرض زيادة فعالية ادارة برنامج الوقاية من الاشعاع فان حدود المناطق المراقبة تعدد اعتياديا الى سياج الموقع.

المراقبة الفيزيائية في المناطق المراقبة

ان ظروف العمل ب تتضمن جميع ظروف العمل التي من غير المحتمل جدا ان يتم تجاوز $3/10$ حدود الجرعة الاساسية للعاملين . وعندما لا يكون التعرض مرتبطا بالعمل او العمل في منشآت لا توجد فيها مصادر مشعة فان المراقبة (Monitoring) والسيطرة الادارية لا تكون ضرورية بما ان السيطرة على المصدر والدروع الواقية تكون كافية لضمان ان حدود الجرعة المطبقة على السكان يتم ملاحظتها.

وفي مناطق العمل تحت سيطرة الادارة المسؤولة عن مصدر الاشعاع فان المراقبة الفردية تكون غير ضرورية عندما تسود ظروف العمل (ب) ولكن ربما تجرى تعصيذا لمراقبة المنطقة في المناطق المراقبة بوصف ذلك طريقة لاثبات ان ظروف العمل تكون مرضية.

وفي العمل في المناطق من المنشآت المحتوية على المصادر المشعة التي لا تكون مسيطر اعليها او مراقبة فانه لا يتطلب مراقبة العاملين في ظروف العمل ب

كما ان اتخاذ القرار بتصنيف ظروف العمل الى (ب) وما يتبع ذلك من الاعفاء من المراقبة الفردية يجب ان يتم فقط في حالة وجود اسس سلامة موازية بواسطة وسائل اخرى مثل تعريض العاملين الى سيطرة ادارية شديدة مقرونة بمراقبة مناسبة لبيئة العمل.

وقد يكون من الضروري في بعض الحالات عندما يكون المجال الاشعاعي وتراكيز المواد متغيرة الرقابة الدورية لافراد مختارين يعملون في منطقة ظروف العمل (ب) لغرض اثبات مقدار الجرعة المخمنة.

وبالرغم من ان المراقبة الفردية غير مطلوبة للعاملين في ظروف العمل (ب) فان الجرعة المتجمعة السنوية المتسلمة من قبل مجاميع العاملين المتعرضين وظيفيا الى الاشعاع ضمن المنشأة النووية يجب ان تقدر وتسجل لغرض التمكن من تقدير الخطورة الاشعاعية لكل مجموعة.

3.6.8 المتطلبات المشتركة للمناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة

ان المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان تكون على النحو الاتي

- 1- تعيين وفق متطلبات الاسس الموضوعية من قبل السلطات المسؤولة.
- 2- عرضه الى المراقبة الاشعاعية (Radiation surveillance) المناسبة.
- 3- تجهزة بتعليقات عمل مناسبة للخطورة الاشعاعية.
- 4- تجهزة باشارات توضح مصدر الاشعاع.
- 3- مزودة باجهزة مناسبة لتشخيص الخطورة الناتجة من مصادر الاشعاع.
- 6- عرضة للفحص لانظمة السلامة الهندسية وسلامة السيطرة مثل المرشحات والاقفال (Interlock)
- 7 - ان تطبيق هذه المتطلبات يتم بمساهمة اختصاصيين مؤهلين.

ان من الضروري اثبات صحة الافتراضات التي عملت عند تصنيف وتحديد مناطق العمل هذه. ان المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان تمسح دوريا وان تراقب دوريا كذلك للتأكد من عدم تغيير مستوى الاشعاع والتلوث او ان حدود المناطق قد وصلت الى حالة لا تكون مناسبة واذا منا اظهرت المراقبة والمسح بان الظروف قد تغيرت الى الاسوأ فانه يجب ان تتخذ اجراءات للقيام بما يلي

أ - تخفيض مستويات الاشعاع او التلوث الى مستويات مقبولة .

ب - اعادة تصنيف المساحة او المنطقة .

ج - تغيير الحدود المعنية .

د - التأكد من ان تصنيف العاملين في الموقع لازال مناسباً .

ربما ان الظروف الاشعاعية نادرا ما تكون منتظمة خلال منطقة فان مواقع الكواشف الثابتة لتقدير النشاط الاشعاعي في الجو يجب ان يخضع للتقدير .

4.6.8 الدخول الى مناطق الموقع .

ان دخول العاملين في المنشأة النووية الى مناطق المنشأة خارج المناطق المسيطر عليها يجب ان لا يحدد لاغراض الوقاية من الاشعاع .

ان متسبي الموقع الذي يتطلب دخولهم المناطق المسيطر عليها يجب ان يخولوا بذلك وفق اساليب العمل المتبعة كما ان اطاعة متطلبات الوقاية من الاشعاع تكون احد الشروط المسبقة للدخول .

ويتم دخول المناطق المسيطر عليها عن طريق تحويل جميع المناطق المسيطر عليها او لمناطق محددة فقط ولزما ينفذ خلال فترة زمنية او ان يسحب في حالة تغيير متطلبات الدخول ولربما منح ترخيص خاص بالدخول الى المناطق المسيطر عليها الى الاشخاص الذين لا تنطبق عليهم المتطلبات بشرط ان يكونوا برفقة شخص مخول .

كما ان الدخول الاعتيادي الى المناطق المسيطر عليها يجب ان يحدد ويفضل خلال نقطة سيطرة واحدة لغرض الحد من انتشار التلوث ولغرض المساعدة على السيطرة على التعرض وللتأكد من الاشغال في اي من مواقع العمل ويتطلب استعمال المسافة والحد من زمن التعرض تدريباً وارشافاً جيداً في العمل. وفي تصميم الحقل الاشعاعي فانه يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار سهولة ازالة الدروع الواقية للتصليح ولايقاف العمل وخلاف ذلك فان الجرعة الاشعاعية المتسلمة في هذه المراحل المتأخرة قد تغطي على تخفيض الجرعة الحاصل خلال التشغيل.

كما ان التلوث بالمواد المشعة ربما يحد بواسطة الاحتواء والنظافة حيث يعطي الاحتواء سلامة داخلية مؤلفة واحد او اكثر من السدود ويعكس طبيعتها وعددها دالة الخطر المتوقع. لا يكون الاحتواء التام ممكناً عملياً دائماً او مبرراً وربما كان الاحتواء الجزئي كافياً فيما لو عزز بنظافة عالية والتهوية تؤدي دوراً مهماً في كلا الاحتواء والنظافة وعندما لا يمكن التخلص من تلوث مناطق العمل فان الملابس والتجهيزات الوقائية الشخصية تؤدي دوراً في حماية العاملين.

7.8 التخطيط للعمل

ان احدى الوسائل المهمة جداً للحفاظ على الجرعة ضمن مبدأ ALARA تكون بواسطة التخطيط المسبق في المناطق المسيطر عليها التي يكون من المحتمل وجود مستويات عالية من الاشعاع او التلوث. ان مثل هذا التخطيط للعمل يجب ان يحوي على تعليمات مكتوبة لكل واجب ولغرض وصف افضل السبل لانجاز العمل فان المعلومات التالية يجب ان توفر.

- 1- تخمين مستويات الاشعاع والتلوث.
- 2- الاجراءات الاحترازية الواجب اتخاذها لغرض وقاية العاملين ومن ضمنها الملابس الواقية واجهزة وقاية التنفس.

- 3- التوقعات المتعلقة بوقت انجاز العمل والجرع المتوقعة مع الاخذ بنظر الاعتبار الملابس الواقية واجهزة وقاية التنفس المستعملة.
 - 4- مقاييس الجرع التي يجب حملها واجهزة المراقبة التي يجب ان تستعمل.
 - 5- قائمة بالعدد التي يجب ان تستعمل وبضمنها العدد الخاصة
 - 6- متطلبات للتأكد من الاشراف والسيطرة والتنسيق.
 - 7- الاجراءات الواجب اتخاذها لازالة المواد المشعة.
- وهناك عوامل اخرى في التخطيط للعمل هي توضيح المسؤوليات بصورة تامة فيما يخص أمور الوقاية من الاشعاع والروابط بين مجاميع العمل المختلفة.

1.7.8 تصريح العمل الاشعاعي (Radiation Work Permits) ورمزه (RWP)

- ان كل تصريح عمل يتطلب اجراءات اشعاعية احترازية يجب ان يحضر ويصدر ويلغى بالكيفية التالية
- 1- وصف دقيق للعمل وموقعه ووقت بدئه يجب ان يدخل في تصريح العمل الاشعاعي.
 - 2- يتم تمييز الخطورة الاشعاعية من المسح الذي يجري من قبل الفيزيائي الصحي او الاشخاص المخولين الاخرين وتدخل نتائج المسح في تصريح العمل الاشعاعي.
 - 3- وعلى ضوء المسح فان الفيزيائي الصحي او الاشخاص الاخرين المخولين سوف يحددون مقياس الجرع الذي يجب ان يحمل واجهزة المراقبة الاخرى والملابس الواقية والاجهزة والمعدات التي يجب ان تستعمل والزمن وحدود الجرع والتصرف الواجب اتخاذها في حالة تغير ظروف العمل او عند الوصول الى حدود الجرع او تجاوزها.

4 - يجب ان يوقع تصريح العمل من شخص مخول او الوثائق المرافقة لغرض الدلالة على ان العمل الموصوف يمكن اجراؤه بصورة سليمة في اذا اتبعت الاجراءات الاحترازية .

5 - ان تصريح العمل الاشعاعي يصدر عن شخص مسؤول عن العمليات او التشغيل في الوجة الى الشخص الذي يقوم بالعمل او يشرف عليه .

6 - عند اكمال العمل فان الشخص الذي يقوم بالعمل او يشرف عليه يعيد تصريح العمل الاشعاعي ويثبت ان جميع الاشخاص القائمين بالعمل قد تم سحبهم . وعندئذ يقوم الشخص المسؤول عن التشغيل في الوجة بايصال تصريح العمل الاشعاعي . ويجب الاحتفاظ بتصاريح العمل الاشعاعية بصفة سجلات حيث انه توضح اية اعمال تم انجازها ومتى ومن قبل من حيث تكون هذه المعلومات نافعة للدراسة والمراجعة وانها تكون مفيدة لغرض التخطيط لانها تمكن من حساب الجرعة الفردية (الجرع المتجمعة للعمل) .

استعمال الملابس الواقية واجهزة التنفس الواقية

ان العمل في المناطق الملوثة يتطلب ملابس واقية لاستعمالها في المناطق التي يوجد فيها تلوث غير مستقر بالاضافة الى المناطق التي يوجد فيها تلوث هوائي او يحتمل ان يوجد كما ان اجهزة الوقاية التنفسية ربما تكون هنالك حاجة لها . والملابس الوقائية الخاصة واجهزة التنفس تكون وفق تصريح العمل الاشعاعي ومتطلبات الدخول الاخرى وتتغير الكمية والنوع طبقا لاحتمالية مستوى التلوث . ان درجة الوقاية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار احتمالية زيادة وقت العمل في حالة استعمال الاجهزة بالاضافة الى زيادة الجرعة المتسلمة او زيادة في القوى العاملة وانه قد يكون هناك تأثير معاكس على السلامة الصناعية .

وكلما كان التلوث كبيراً دعت الحاجة الى درجة اكبر من الوقاية ومن الممكن تحقيق ذلك عن طريق ارتداء طبقة اخرى من الملابس الواقية وخاصة البدلة ذات القطعة الواحدة (Overall) واغطية الاحذية والكفوف. وعندما يغادر الفرد منطقة التلوث فان الجزء الخارجي من الالبسة الواقية يجب ان يزال وان يوضع في حاوية الملابس الملوثة المجهزة لهذا الغرض. ان التعليمات المتعلقة بارتداء الاجهزة الواقية وخلعها يجب ان توفر بالاضافة الى توفر مساعدين لهذا الغرض.

وفي حالة تطلب طبيعة خطورة التلوث المحمول جواً عزلاً مؤثراً وتاماً للافراد عن بيئة العمل فانه يجب تزويد الافراد ما يلي

- 1- ملابس يمكن ان تنفخ بالهواء ذات خواص صالحة للتنفس
- 2- ملابس غير نفاذة (Impervious Clothing) بالاضافة الى جهاز حاو على مستودع هواء او ان يزود بالهواء من ضاغطه هواء (Compressor)

كما ان اجهزة الوقاية التنفسية المعطاة للافراد يجب ان تكون ملائمة للنويدات المشعة المعنية. ان هذه الاجهزة يجب ان تختار لكي توفر درجة الوقاية المطلوبة ويجب ان تفحص للتأكد من الصلاحية.

وبعد كل حالة استعمال فانه يجب معاملة اجهزة الوقاية التنفسية والملابس الواقية بوصفها ملوثة وتعامل كذلك.

والعمل في مناطق الاشعاع والمناطق الملوثة يمكن ان يتطلب استعمال اجهزة وقاية خاصة لغرض الحد من التعرض مثل الدروع المحمولة (Port-able shields) واجهزة التهوية الموقعية المحمولة مع مرشحاتها والعدد المسيطر عليها من بعيد واجهزة المراقبة والاتصالات وحاويات نفايات مشعة صلبة مؤقتة وحاويات للمواد المشعة السائلة.

ان افراد الموقع يجب ان يهربوا بصورة خاصة وان يؤهلوا في استعمال الملابس الواقية واجهزة الوقاية الخاصة كلما كان ذلك مناسباً كما ان الاشخاص الذين يتعاملون مع الملابس الواقية واجهزة التنفس الواقية يجب ان يكونوا مؤهلين لهذا الغرض.

2.7.8 السيطرة على الدخول

- 1- ان الدخول الى المنطقة المسيطر عليها يجب ان يقتصر على اولئك الذين نسبوا الى هذا المناطق او للاخرين الذين صرح لهم بذلك
- 2- ان دخول العاملين الى المناطق المراقبة يجب ان يخضع لارشادات التشغيل الموقعية.
- 3- ان دخول الزوار للمناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان يسمح به بعد موافقة المستوى الاداري المناسب المسؤول عن محلات العمل.

3.7.8 مسح ومراقبة المنطقة (Area monitoring and surveys)

ان الغرض من المراقبة والمسح هو التأكد من ان المناطق المحددة تبقى نافذة. ولغرض اعطاء معلومات حول الحالة الاشعاعية للمنشأة النووية والمناطق الخاصة قبل بدء العمل واثناؤه، وربما ينجز المسح بصورة اوتوماتيكية بواسطة كواشف ثابتة لمستويات الاشعاع وتلوث الهواء او بواسطة المراقبة اليدوية الدورية (Periodic manual monitoring) واخذ النماذج من قبل اشخاص مدربين. وعندما تتوفر كواشف ثابتة فانه يجب وضعها في مناطق يحتمل حدوث تغييرات كبيرة في مستويات الاشعاع فيها او معدل جرع او تلوث الهواء (بالغازات او اليود او الجسيمات) وتتضمن منبه للدلالة على تجاوز الحدود المصدريه. ان المنبه يجب ان يوضع في غرفة السيطرة التي يجلس فيها الاشخاص وكذلك في محلات المراقبة. وعندما يتوقع اشغال المحلات مرارا فانه يجب توفير كاشفات ثابتة. ان تكرار الكشف والمسح الاشعاعي للمواقع والقياسات التي يجب اجراؤها يجب ان يتم على استمارات يتم تحديثها كلما كان ذلك ضروريا استنادا الى الحالة الموجودة.

ويجب كذلك القيام بالمسح الاشعاعي لغرض مجابهة المشاكل الخاصة وعلى سبيل المثال عند حدوث تسرب ينتج عنه تلوث محمول جوا او عندما تكشف المراقبة الروتينية حالة غير اعتيادية او غير طبيعية .
وعندما تستعمل مراقبة المناطق بصفة طريقة للتأكد من عدم تجاوز حدود الجرعة الفردية فانه يجب اتخاذ الخطوات للتأكد من ان معلومات المراقبة الناتجة من الكواشف الثابتة من المسح الاشعاعي المختار تمثل الحالة الاشعاعية في المنطقة .

4.7.8 مراقبة مناطق العمل

- ان مراقبة مناطق العمل يجب ان تجري لغرض
- 1- تقدير مستويات الاشعاع الخارجية : مثل معدل الجرعة ومعدل الدفق في جميع المواقع المناسبة ضمن المنشأة النووية .
 - 2- لغرض تقدير مستويات التلوث الاشعاعي في جميع المواقع ضمن المنشأة النووية .
 - 3- لغرض تقدير الخطورة الاشعاعية المرتبطة بالحوادث وحالات الطوارئ .

5.7.8 الحد من التعرض (Restricting exposures)

كلما كان ذلك ممكنا منطقيا وعمليا فان الترتيبات التي تتخذ للحد من التعرض المهني تتعلق بمصدر الاشعاع وبخواص محل العمل .ان التأكيد يجب ان يتم على الخواص الداخلية لموقع العمل وفقط بصورة ثانوية على الوقاية الناتجة من فعاليات العاملين .
ان استعمال اجهزة الوقاية الفردية يجب ان يكون بصورة عامة معززا
للاجراءات الاساسية الاكثر اهمية .

ان التعرض الخارجي ربما يحد بواسطة استعمال الدروع الواقية والمسافة والحد من زمن التعرض. ان كفاية التدريع لمصادر الاشعاع تعطي ظروف سلامة داخلية (Intrinsically safe condition)

8.8 حالات الطوارئ

ان برنامج الوقاية من الاشعاع يجب ان يتضمن جميع حالات الطوارئ التي ربما تسبب تعرضا خارجيا للاشعاع غير مخطط له وتلوثا خارجيا او داخليا للاشخاص او تلوثا للمناطق والاجهزة. ان النقاش هنا سوف يتناول حالات الطوارئ المتعلقة بالامور داخل المنشأة النووية فقط.

طرائق التعامل مع حالات الطوارئ

قبل بدء التشغيل يجب وضع الترتيبات الخاصة بازالة تلوث الاشخاص والعلاج للاشخاص الذين يتأثرون بحالات الطوارئ. ان حالات الطوارئ يجب ان تبلغ حالا الى السلطات المختصة طبقا لاساليب التعامل مع حالات الطوارئ والحوادث. ان الاساليب المناسبة التي تتبع سوف تحدد نتيجة تقديرات النواحي المتعلقة بالوقاية من الاشعاع للحالة الطارئة. ان الاشخاص المتأثرين بحالة الحوادث يجب ان يشخصوا ويعزلوا على ضوء التلوث والتعرض الاشعاعي والاصابات. ان الاشخاص الملوثين ولكنهم غير مصابين يتم ازالة تلوثهم في منطقة محددة لهذا الغرض. عادة في منشأة داخل المنطقة المسيطر عليها. وفي حالة الاشخاص الملوثين والمصابين اصابات بليغة فان يجب اعطاء الاولوية للعناية الطبية على ازالة التلوث. وهذه الحالات فان شخصا متدريا على اساليب السيطرة على التلوث يجب ان يرافق الاشخاص المصابين الى العناية الطبية لغرض اعطاء المشورة حول السيطرة على تلوث المنشآت والاجهزة.

ولغرض الاسراع في عملية التعامل مع حالات الطوارئ فان المنشآت الواقعة ضمن الموقع يجب ان تكون حاوية على غرفة اسعافات اولية وعلى منشآت لازالة التلوث عن الاشخاص والاجهزة والمناطق.

ان جميع الاشخاص الذين يقومون بواجبات الوقاية استجابة لحالة طارئة يجب ان يجهزوا بمقياس جرعة فردي وملابس وقائية مناسبة واجهزة وقاية تنفس للدرجة التي تتطلبها الحالة. ويجب توفير كميات كافية من مختلف الاجهزة الوقائية بصورة آنية لمقابلة المتطلبات الدنيا المتوقعة خلال حالة الطوارئ.

ويجب توفير اجهزة كشف اشعاع ذات مجال عال (High - range radiation - monitoring instruments) ومن ضمنها اجهزة معدلات جرعة (Dose rate instruments) ومقاييس جرعة فردية يجب ان تكون متوفرة بيسر للاستعمال خلال حالات الطوارئ.

وبالاضافة الى ذلك فانه يتطلب اجهزة اخذ نماذج هواء ذات قوة ذاتية وفي مناطق مختارة فانه يجب وجود اجهزة كشف ذات مدى عال ثابتة لغرض التقدير السريع للحالات الطارئة. ويجب توفير الامكانيات لاختذ النماذج مثل الغازات والرذاذ وسوائل الضخ داخل الابنية دون الحاجة الى الدخول فيها. ويجب فحص جميع الاجهزة الخاصة بحالات الطوارئ بصورة دورية وكلما كان ذلك ضروريا للتأكد من انها متوفرة وتعمل بصورة مرضية في حالة الحاجة بها.

9.8 التعرض في حالات الطوارئ والحوادث

(Accidental and emergency exposure)

ان اساس الوقاية من الاشعاع تميز ظروف التعرض الذي يخضع للسيطرة الذي ينطبق عليه نظام تحديد الجرعة من التعرض الناتج من ظروف لا تخضع للسيطرة حيث يكون لها اعتبارات اخرى يجب اخذها بنظر الاعتبار.

ان احتمالية حدوث التعرض غير الطبيعي الناتج عن الحوادث بالاضافة الى مقدار هذا التعرض يمكن ان يحدد الى درجة ما بواسطة التصميم المناسب وبواسطة خواص السلامة الهندسية ولاحداث الحوادث المميزة بالمقادير الصغيرة من الضرر الاشعاعي الاحتمالي (Stochastic radiation detriments) واحتمالية عالية للحدوث فان القيمة المتوقعة الكلية للضرر الصحي تتوفر مقياسا للمقارنة بين هذه المتريات مع الخطورات الاخرى واستراتيجية السيطرة البديلة. ان تحليل هذه الاجراءات توفر طريقة للوصول الى حدود مقبولة وبصورة معاكسة فان القيمة المتوقعة للحوادث ذات المقادير الكبيرة والاحتمالية القليلة التي يحدث عنها عدد كبير من الضحايا غير الاحتمالية لا تخضع لمثل هذا التحليل. ان هذه الاحداث يسيطر عليها بواسطة تخفيض الاحتمالية للحدوث او بواسطة تقليل المرتبات او كليهما. وفي حالة حدوث حادثة فان الحد من التعرض يمكن ان يحقق بواسطة اجراءات تصحيحية ربما تتطلب خطوات خاصة تؤخذ خلافا لاجراءات التشغيل الاعتيادية ان مثل هذه الخطوات تدعى تدخلا (Intervention).

ان الغرض من التدخل هو لغرض اعادة السيطرة على الحالة غير الطبيعية ولغرض الحد من تعرض الافراد وتطبيق اجراءات تصحيحية للاشخاص ويشتهم لغرض تقليل مرتبات التعرض الذي لا يمكن تجنبه ولتوفر رعاية طبية فورية للاشخاص ولغرض القيام بالخطوة الاولى لاعادة الظروف الطبيعية.

وللتنوع الكبير في الظروف التي ربما تؤثر في اتخاذ الاجراءات التصحيحية فانه من غير الممكن وضع مستوى تدخل مناسب لجميع المناسبات ولكن مع هذا فانه لانواع معينة من الحوادث التي تكون منظورة الى مدى معين فانه قد يكون ممكنا للسلطات المسؤولة بواسطة تحليل كلفة الحادثة والاجراءات التصحيحية وضع مستويات تدخل ومع ذلك فقد تم وضع مثل هذه المستويات [المصدر 64, (ICRP 40)].

ان القرار باتخاذ الاجراءات التصحيحية يكون مبرراً فقط عندما تكون كلفتها الاجتماعية وبضمنها الضيق الاجتماعي (Social inconvenience) والخطورة اقل من تلك الناتجة من التعرض الاكثر. ومع هذا فان اولئك المسؤولين عن صحة وسلامة العاملين والاشخاص خارج المنشأة النووية يجب ان يكون لهم خطة طوارئ وبضمنها حدود جرعة يتم عندها اتخاذ الاجراءات التصحيحية. ان وضع مثل هذه الحدود للتدخل هو من مسؤولية السلطات الوطنية المسؤولة (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلاً)

التعرض غير الطبيعي في الحالات المهنية

ان التعرض غير الطبيعي في الحالات المهنية ربما يحدث نتيجة حالة غير طبيعية وبضمنها حالات الطوارئ والحوادث ان التعرض في حالات الطوارئ ربما يحدث من عمليات طوارئ مبررة خلال حادث او بعده مباشرة. ان تعرض الحوادث يختلف عن تعرض الطوارئ بانه غير منظور. ان التدخل من قبل مجاميع الطوارئ في عمليات الطوارئ خلال الحوادث او بعدها مباشرة ربما ينتج عنه جرعة تتجاوز الحدود الموضوعة للتعرض المهني. ان الجرعة المتسلمة خلال التدخل يجب ان تحسب بواسطة خبير مؤهل. ان مستويات التعرض توضع مع الاعمال المناسبة لغرض الحد من التعرض ويجب ان تعرف بوضوح بتعليمات التشغيل ضمن حدود التعرض الخاص المخطط له.

1- ان الجرعة والتناول للعاملين مهنياً في حقول الاشعاع التي تتسلم خلال الاحداث غير الطبيعية يجب ان تخضع للتحري حول اسباب حدوثها ومترتبات ذلك.

2- عندما يتسلم عامل في حقول الاشعاع جرعة او تناولا للمواد المشعة التي تخمن على انها تتجاوز ضعف الحدود السنوية فان الحالة يجب ان تخضع للمراجعة الطبية المناسبة بواسطة طبيب مهني مختص.

3- ان الترتيبات الادارية التي تتخذ بعد الحادث يجب ان تتضمن قرارات حول الحاجة للحد من التعرض المهني المستقبلي لاولئك المشمولين بالحادثة. ولربما يستمر السماح للعامل بالاستمرار بالعمل الروتيني فيما اذا لا يوجد اعتراض من الناحية الطبية وانه قد اخذ بنظر الاعتبار الجرعة الاشعاعية المتسلمة قبل ذلك وصحة وعمر ومهارات العامل بالاضافة الى المسؤوليات الاجتماعية والاقتصادية للمتعرض.

ان جميع جرعة الطوارئ والحوادث يجب ان تسجل بالاضافة الى التناول الحادث في الطوارئ والحوادث سوية وان تميز بوضوح عن التعرض الاعتيادي.

واذا حدث تعرض يزيد عن حدود الجرعة المسموعة او انه قد شك بان ذلك قد حدث فانه يجب التحري عن الظروف التي ادت الى حدوث التعرض وان النتائج يجب ان تبلغ الى ادارة المنشأة النووية والى السلطات المسؤولة. وفيما اذا تطلبت عمليات الطوارئ تسلم بعض العاملين جرعا اشعاعية تزيد على الحدود الموضوعة للتعرض الخاص المخطط له فان مثل هذا النوع من تعرض الطوارئ يعتبر مبرراً فقط في حالة كونه فوراً لانقاذ اشخاص مصابين او محصورين ولغرض منع الاصابات او منع الزيادة الكبيرة في مقدار الحادث ويضمنها انقاذ مواد ذات قيمة عالية وفي اية حالة فان مثل هؤلاء العمال يجب ان يكونوا.

1- متطوعين

2- قد حصلوا على معلومات حول الخطورة المتضمنة التعرض اعلى من الحدود.

وعندما يتم وضع السيطرة على الاحداث الابتدائية فان الاجراءات التصحيحية يمكن ان تجري عادة باطاعة حدود مكافئة الجرعة. واستثناءً من ذلك فانه ربما تكون هنالك حالات تتطلب الاخذ بنظر الاعتبار ملائمة تخويل التعرض الخاص المخطط له لعدد محدود من الاشخاص للقيام بعمليات مهمة مختلفة مع ترك البقية للانجاز باطاعة حدود الجرعة.

- وإذا ما حدث ان الاشخاص العاملين قد تعرضوا او تلوثوا بصورة جدية نتيجة الحالة غير الطبيعية فان الاعمال الانية يجب القيام بها.
- 1 - جمع مقاييس الجرعة والمعلومات التي تساعد في تقدير الجرعة والتناول.
 - 2 - جمع نماذج بايولوجية لتحليل الـ (Bioassay)
 - 3 - البدء بالفحوصات الطبية والتشخيص الذي يلي ذلك.
 - 4 - جمع معلومات حول ظروف الحادث.
- ان الحاجة الى السيطرة على التلوث يجب ان لا تعرقل او تتداخل مع الاسعافات الاولية والمعالجة التي تلي ذلك للاشخاص الذين يحتاجون الى الرعاية الطبية لاسباب اخرى.

10.8 التعرض الطبي (Medical exposure)

ان التعرض الطبي ينطبق على تعرض الافراد الناتج من الفحص الطبي ومن المعالجة المرتبطة بصورة مباشرة مع المرضى. وكذلك الفحص المنتظم (Systematic examination) الذي يتضمن التحري الكتلي (Mass screening) او الفحص الصحي الدوري (Periodic health check) او الفحص الذي يشكل جزءا من الاشراف على العاملين او الذي يجري لاغراض القانون (medico - legal) او لاغراض التأمين والفحص او المعالجة التي تكون جزءا من برنامج البحوث الطبية.

عندما يتعلق الفحص او العلاج بصورة مباشرة بالمرض فان نظام تحديد الجرعة ينطبق على هذه الحالة فيما عدا حدود الجرعة. ومع هذا خلافا للعاملين في حقول الاشعاع والسكان وفي كل حالة مفردة للتعرض فان الفرد المتعرض الى الخطورة هو نفس الشخص الذي يستفيد من الفحص او المعالجة. ان حدود الجرعة غير مطلوبة هنا لان ناتج التبرير والوصول الى الحالة المثلى يجب ان يكون دائما في افضل فائدة للفرد من الخطورة المتأتية من اي مستوى للجرعة.

ان مسؤولية القرار فيما اذا كان الفحص المتضمن جرعا اشعاعية الى المريض تعود الى الطبيب الذي يطلب الفحص وفي بعض الاحيان الممارس الذي يجري الفحص. وفي كلتا الحالتين فانه من الضروري ان يكون القرار مبنيًا على تقديرًا صحيح للدلائل التي تشير الى ضرورة الفحص والنتائج المفيدة المتوقعة من الفحص والطريقة التي يحتمل ان تؤثر فيها النتائج على التشخيص والرعاية الطبية للمريض التي تلي ذلك.

واذا كان تعرض المرضى نتيجة برنامج البحوث الطبية التي لا يكون فيها منفعة او منفعة قليلة جدا للأشخاص المعرضين للتشعيع فإن التشعيع يجب ان يتم من قبل اشخاص مؤهلين علميًا ومتدربين بصورة جيدة طبقا للشروط الموضوعية من قبل السلطات المسؤولة لاغراض برنامج البحث. وعند وضع هذه الشروط وحدود الجرعة فان هذه السلطات يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار المعلومات التي في منشورات منظمة الصحة العالمية (WHO) حول الطرائق التفصيلية لاجراء البحوث الطبية على البشر وان تقوم بوضع الشروط وحدود الجرعة بحيث ان الضرر يبقى مقبولا للأشخاص المعرضين.

ان الخطورة المقدرة نتيجة التشعيع يجب ان تشرح للمعنيين الذين يجب ان يكونوا متطوعين من حيث المبدأ وانهم قادرون بصورة كاملة على التصرف الحر. واستثناء من ذلك فان التشعيع ربما يعطي الى الاطفال والاشخاص الآخرين الذين لا يستطيعون اعطاء موافقتهم الصادقة فيما لو كانت الفائدة العلمية ذات اهمية واضحة واذا ما اعطيت الموافقات الاصولية من قبل اولئك المسؤولين عنهم قانونا واذا كانت الجرعة الاشعاعية المتوقعة تبقى قليلة وفي اية حالة اقل من الحدود المثبتة بواسطة السلطات المسؤولة وعلى سبيل المثال 1/10 من الحدود الموضوعية لافراد المجتمع. وبالإضافة الى ذلك فان بحوث طبية تتعلق بالبشر يجب ان تخضع كليا لاعلان هلسنكي (Helsinki declarations) وانه يجب ان تجري فقط بموافقة السلطات الطبية المسؤولة عن المؤسسات التي يجري فيها التشعيع وكما هو موصى من قبل جهة علمية مناسبة وعرضه للانظمة الوطنية والمحلية والقواعد الاخلاقية والعرف (Ethical rules)

ان الفحص النظامي (Systematic examination) وهو الفحص الاشعاعي الدوري (Periodic radiological examinations) يجري دون الاشارة الى الاعراض المرضية في الافراد سوف يكون عرضة للتبرير. ان التقدير يتعلق بالمعلومات المفيدة المستحصلة واهمية تلك المعلومات لصحة الافراد.

وللفحوصات النظامية التي تجري في التحري الكتلوي فان التبرير يجب ان يستند الى الموازنة بين الفوائد التي تنطبق على الافراد المفحوصين وعلى السكان كلهم ضد الكلفة وبضمنها الضرر الاشعاعي الناتج عن التحري. وبصورة عامة فان الفوائد تعتمد على ناتج التحري الكتلوي واحتمالية المعالجة الفعالة للحالات المكشوفة لبعض الامراض والفوائد على المجتمع نتيجة السيطرة على المرض. ان فوائد التحري لا تكون متشابهة دائماً للمجاميع المختلفة من المجتمع وان التحري يكون غالب مبرراً فيما اذا شمل مجاميع خاصة محددة. ان البرنامج يجب ان يكون عرضة للتقويم والمراجعة عدة مرات لغرض تقدير ما اذا كانت النتيجة المستحصلة في ايجاد مرضهم تكون عالية بما فيه الكفاية بحيث تبرر استمراره.

ان الفحوصات الاشعاعية قد تجرى لاغراض الفحص الطبي للتعين المهني وتكون مبررة بالنسبة لصحة الفرد وصلاحيه الفرد للعمل. ان مثل هذا الفحص يجب ان يجري بما يتماشى مع الوصول بالوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى.

ان الفحوصات الاشعاعية الخاصة بالطب القضائي او لغرض تقدير صحة الاشخاص لاغراض التأمين يجب ان لا تجرى الا بعد ان تعطى الفوائد المجنأة من قبل الشخص دراسة جديده.

وفي كل الحالات فان على الطبيب او الممارس الاشعاعي ان يتأكد من ان المعلومات اللازمة لا تكون متوفرة من الفحوصات السابقة او التحريات السابقة وان نفس المعلومات لا يمكن ان يحصل عليها من التحري باستعمال طرائق اخرى. ان على الطبيب الممارس الذي يجري الفحص ان يوصل الوقاية

الى الحالة المثلّي ويجب ان يكون له دائما تدريبا في مجال الوقاية من الاشعاع الذي يكون مقبولا لكفايته له من السلطات المسؤولة.

11.8 تعرض السكان ما عدا التعرض الطبي

ان افراد المجتمع لا يكونون عرضة للاشراف بصورة عامة وبهذا فان تعرض السكان الى الاشعاع يحد بالدرجة الاساس عن طريق السيطرة على المصدر المشع. ان هذا يختلف عن السيطرة على تعرض العاملين الذين يكونون تحت الاشراف وفي تقدير والسيطرة على تعرض السكان فانه يجب التمييز بأنه غالبا ما يكون هنالك فرق بين السكان (Public) والعاملين المهنيين في حقول الاشعاع من ناحية توزيع العمر (Age distribution) ومعاملات التمثيل والطرائق الحرجة (Critical pathways) والية التناول (Intake mechanism). وهكذا.

ولهذا فانه للحالات الخاصة عندما يكون هنالك تعرض داخلي للرضع والاطفال وبسبب التحديدات الحياتية ومعاملات التمثيل (الايض) فان قيم التناول يجب ان تختار على النحو الاتي.

ان الحدود الثانوية قد تبلغ $1/100$ من الحدود السنوية للتناول ALI وربما تستعمل في الحالات التي لا يحتمل ان يتكرر فيها التعرض لفترات طويلة من الزمن. ان هذا الجزء مؤلف من مكونتين. ان احدهما هي $1/10$ وتطبق على قيمة الـ ALI للاخذ بنظر الاعتبار حدود الجرعة الدنيا لافراد السكان وان المكونة الاخرى هي $1/10$ اضافي للاخذ بنظر الاعتبار الكتل الصغيرة لاعضاء الرضع والاطفال الحرجين.

ان $1/100$ من الـ ALI ذات العلاقة (المصادر 56-60) تستعمل بصفة كمية ذات علاقة لقيمة متوسط التناول في الحالات التي يكون فيها تعرض الافراد في المجاميع الحرجة يستمر لفترة طويلة من الزمن (لغاية كل عمر الفرد) ان هذا الجزء مكون من جزأين: الجزء الاول. يبلغ $1/50$

والذي يطبق على قيم ALI للاخذ بنظر الاعتبار متوسط القيم السنوية الدنيا لافراد السكان والجزء الثاني يكون $\frac{1}{2}$ وهو تأخذ بنظر الاعتبار كتلة الاعضاء المتوسطة خلال فترة العمر حيث ان كتلة الاعضاء تزداد عند بلوغ الاشخاص .

ومع هذا فان حدود مكافئ الجرعة المؤثرة السنوية ومتوسط القيم السنوية 5 mSv (0.5rem) عندما يقتصر التعرض على زمن قصير من حياة الفرد او متوسط 1 mSv (0.1rem) على مدى حياة الفرد .

ان الاعمال المتعلقة بتعرض السكان الى الاشعاع يجب ان تجري فقط ضمن متطلبات نظام تحديد الجرعة . ان حدود الجرعة لافراد السكان تنطبق على الجرعة الى المجاميع الحرجة وان اختبارها يخضع لموافقة السلطات المسؤولة .

وفي حالة استمرارية العمل فان الجرعة المخصصة من كل سنة تشغيل يجب ان تحدد بطريقة بحيث ان الجرعة السنوية المستقبلية الى المجاميع الحرجة في الوقت الذي تصل فيه الى القيم العظمى سوف لن يتجاوز حدود الجرعة المناسبة . وفي تطبيق هذه التحديدات الى الجرعة المخصصة من سنة التشغيل واحدة فانه يجب توفير حد كافي للاخذ بنظر الاعتبار الفعاليات الاخرى التي تسبب تعرض مجموعة حرجة معينة .

ان الادارة المسؤولة عن النشاط الذي ينتج عنه تعرض افراد السكان الى الاشعاع يجب ان تتأكد من اتباع كل المتطلبات ذات العلاقة الموضوعية من قبل السلطات المسؤولة والتي غايتها وقاية السكان .

ان الحد من تعرض السكان يأخذ بنظر الاعتبار

1 - مفاهيم الوقاية من الاشعاع المتعلقة بالافراد حيث يجري احترام حدود الجرعة الموضوعية لافراد المجتمع .

2 - مفاهيم الوقاية من الاشعاع المتعلقة بالمصدر ان اي مصدر او عمل يجب ان يبرر ويكون عرضة لمبدأ الوصول الى الحالة المثلى .

ولغرض تقدير الوقاية المتعلقة بالمصدر فانه قد يكون مفيدا استنباط تنبؤ طويل المدى لاتجاهات المساهمات المختلفة الى مجموعة الجرعة المتجمعة ومجموع مكافئ الجرعة الفردية الناتجة من مختلف مصادر التعرض .

12.8 مفاهيم الوقاية المتعلقة بالافراد

ان تقديرات الجرعة المتعلقة بالافراد تهدف الى تخمين التعرض الكلي الى الاشعاع المتسلم من قبل اشخاص معينين من جميع المصادر الفردية .
ان حدود مكافئ الجرعة للعاملين ولافراد المجتمع لا يقصد بها اغراض التصميم او التخطيط ولكنها تمثل الحدود الدنيا لمديات القيم التي تعتبر بصورة عامة غير مقبولة. ان القيم التي هي اعلى من هذه الحدود يجب ان يتم تجنبها بصورة خصوصية . ولكن القيم التي هي اقل من هذه الحدود لا يجري قبولها بصورة ذاتية وبهذه الروحية فان الحدود هي لاغراض الوصول الى الحالة المثل .

وعندما يحتمل ان تساهم عدة فعاليات بصورة ملموسة الى تعرض نفس المجموعة من السكان المعرضين اما سوية او على التوالي فان ايجاد المجاميع الحرجة يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار هذه المستهات بصورة منفردة .
ويجب المعرفة بان تعرض المجموعة التي تكون حرجة فيما يخص مقادير مصادر متقدمة لا يكون بالضرورة متشابهة الى اي مجاميع اخرى . تكون حرجة فيما يخص المصادر المفردة . وبصورة عامة فان المجموعة الحرجة لمصدر معين او مجموعة من المصادر هي المجموعة من الافراد الذين يكون تعرضهم متجانساً نسبياً (مثلا للافراد المسلمين للجرع القصوى وهذا يكون معزولا عن الحدود الاساسية .

ولان حدود الجرعة تنطبق على التعرض من عدة فعاليات فانه لا يمكن استعمالها بصفة حدود تشغيلية وفي الحقيقة فان التعرض في حد من فعالية مفردة سوف لا يترك مجالا للتعرضات الاخرى لنفس المجموعة الحرجة . واكثر

من ذلك فانه في كل سنة من استمرار الفعالية يمكن ان يسبب في بعض الحالات تعرضا سوف يعطى في المستقبل يساهم في تعرض السنوات الاخرى.

ان من الممكن السيطرة على متوسط مكافئ الجرعة المؤثرة المستقبلي الناتج من جميع الفعاليات بواسطة تطبيق حدود عملية على مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة لوحدة الفعالية لكل واحدة في الفعاليات ان هذا المفهوم قد استعمل في بعض البلدان لوضع الحدود المصرح بها الى مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة لوحدة MW.year من الطاقة الكهربائية المتولدة بواسطة الطرائق النووية.

ان استعمال النماذج البيئية يمكن من ايجاد العلاقة بين المطروح والمستوى البيئي والجرعة الناتجة مما يجعل من الممكن عزو طرح المواد المشعة الى البيئة الى مكافئ الجرعة المؤثرة للمجاميع الحرجة. ان تسلسل الاحداث التي تؤدي الى تشيع البشر منذ الاطلاق الابتدائي يمكن ان توضح بيانيا بواسطة نماذج الحجيرات (Compartment models) والتي يكون معدل الانتقال للمواد المشعة بين هذه الحجيرات محددًا بثوابت او بدالات زمنية (Time functions) ان استعمال نماذج الحجيرات حتى ولو كانت معقدة يضمن تبسيطا كبيرا لعملية الانتقال الحقيقية لمجموع طرائق الانتقال التي تربط الطرح او المواد المشعة الى تعرض البشر.

ولغرض التقديرات المتعلقة بالافراد فان المساهمات للمناطق وعلى النطاق العالمي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار من المصادر والفعاليات الاخرى والتي تعرض نفس المجموعة الحرجة. وبالإضافة الى ذلك فانه يجب الاخذ بنظر الاعتبار التعرض من الانواع الاخرى الذي يشمل الظروف الحالية والمستقبلية لنفس المجموعة الحرجة.

13.8 مفاهيم الوقاية المتعلقة بالمصادر

ان التقديرات المتعلقة بالمصادر يكون الغرض المثالي منها تقدير الضرر الاشعاعي الكلي من مصدر محدد او ممارسة محددة. ان هذا الضرر عندما يتضمن جرعا فردية صغيرة اقل من الحدود المسموح بها حيث تكون مؤلفة تأثيرات احتمالية فقط وتحت فرضية التناسب فان المكونات الصحية لمجموع الضرر يتناسب مع مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة.

14.8 الحد من التعرض

ان الحد من التعرض الناتج من مصدر او فعالية يجب ان يتضمن فحص واختبار الاجراءات الوقائية التي تشمل

- 1- الفحص والموافقة على الفرضيات المتعلقة بالخطورة الاشعاعية. ان ذلك يتضمن دراسات ما قبل التشغيل ان تطلب ذلك.

- 2- القبول في الخدمة في المنشآت النووية الجديدة او تحويل المنشآت الحالية الموجودة فيما يخص الوقاية من اي تعرض للاشعاع او تلوث عرضة للامتداد لسياج المنشأة مع الاخذ بنظر الاعتبار الظروف السكانية والانوائية الجوية والجيولوجية والمائية والبيئية.

- 3- فحص كفاءة الاجهزة الواقية ووضع الحدود المصرح بها للطرح وعندما يكون ذلك ضروريا يجب وضع خطة طوارئ.

ان التعرض الخارجي المباشر من المصادر المستعملة في الصناعة والطب والاغراض العلمية يجب ان يحدد وانه يكون من الضروري تحديد منطقة محدودة الدخول او الاستعمال قرب المصدر.

برنامج المسح والمراقبة للجرع الفردية ومكافئ الجرع المتجمعة المخصصة

ان الغرض في المسح الاشعاعي ما يلي

- 1- التأكد من اتباع الحدود المصرح بها.
- 2- لغرض تقدير مكافئ الجرع الى افراد السكان من المصادر تحت التداول.
- 3- لغرض تقدير اتجاهات مستويات التعرض في البيئة. ان مراقبة السكان المعرضين يمكن ان يتم على النحو الاتي

أ - مراقبة المصدر الذي يتضمن مراقبة ما هو مطروح وتقدير معدل الجرع في حالة التعرض المباشر لافراد السكان. ان مراقبة المصدر تشكل متطلبات السيطرة الاساسية بالعكس من مراقبة طرائق الانتقال البيئية.

ب - مراقبة طرائق الانتقال البيئية للتأكد بأن المجاميع الحرجة من السكان يجري حمايتها بصورة كافية. ان المسح يجب ان يجري في جميع الاماكن التي يحتمل ان تتواجد فيها المجاميع الحرجة من السكان وان المراقبة "بيئية يجب ان تجرى في مناطق اخرى يحتمل ان يتأثر السكان فيها بواسطة مصدر معين. ان المستويات البيئية تكون عادة قليلة جدا ولهذا يعتمد بصورة اساسية على مراقبة المصدر.

ان نتائج المسح الاشعاعي يجب ان تدرس وذلك للتأكد من الافتراضات المعمولة حول النماذج البيئية او لتعديلها والتي تستعمل لاشتقاق حدود الطرح وتقدير الجرع المخصصة.

ان السجلات التي تربط القياسات الخارجية للتعرض والتلوث الاشعاعي. بالجرع المقدرة المتسلمة من قبل السكان يجب ان تنضم بصورة جيدة. ان جميع قيم الطرح للمواد المشعة الى البيئة يجب ان تسجل طبقا لمتطلبات السلطات المسؤولة وقبل بدء العمل في ممارسة ينتج عنها تعرضا للسكان فانه متى يكون من المناسب اجراء دراسات ما قبل التشغيل لاعطاء المعلومات اللازمة لمعاملات طرائق الانتقال ذات العلاقة ولغرض التخطيط للمراقبة خلال التشغيل.

15.8 التعرض من السلع الاستهلاكية

(Exposure from consumer products)

ان السلطات المسؤولة يجب ان تنظم استعمال السلع الاستهلاكية التي تسبب تعرضا للاشعاع وان تضع تعليمات لغرض تقدير مثل هذه المنتجات حتى في حالة كون الاتجار بها واستعمالها لا يخضع لهذه الاسس وعندما يسمح بادخال سلعة من هذا النوع فانه يجب اخذ ردمها في المستقبل بنظر الاعتبار.

التعرض المضاف الى مصادر الاشعاع الطبيعية

ان مبدأ التبرير والوصول الى الحالة المثل ينطبق بصورة عامة على كل الفعاليات التي ربما تؤثر في التعرض الى مصادر الاشعاع الطبيعية. وبالرغم من ان حدود مكافئ الجرعة لا تنطبق بصفة قاعدة على الجرعة الناتجة من الخلفية الاشعاعية فان السلطات المسؤولة ربما تحدد بأن يتم اخضاع التعرض المزداد الى مصادر الاشعاع الطبيعية الى حدود مكافئ الجرعة او الى حدود جرعة خاصة.

ان الخلفية الاشعاعية العالية الموجودة يجب ان تقدر على ضوء المنفعة الصافية المتحققة عن تخفيض التعرض. ان حدود التدخل المناسبة يجب ان تحدد من قبل السلطات المسؤولة في كل حالة مع الاخذ بنظر الاعتبار ان لحدود الجرعة المكافئة علاقة قليلة في هذه الحالة.

16.8 طرح المواد المشعة الى البيئة

(Radioactive release to the environment)

ان اطلاق المواد المشعة الى البيئة بمستويات تفوق حدود الاستثناء الموضوعية من قبل السلطات المستخدمة يجب ان يخضع لتصريح مسبق بواسطة السلطات. ان دراسات ما قبل التشغيل يجب ان تجري لتمييز المجاميع الحرجة

وطرائق الانتقال الحرجة بطريقة ترضي السلطات المسؤولة. ان ادارة اي منشأة تقوم بطرح المواد المشعة الى البيئة سوف تكون مسؤولة عن وضع السيطرة على الطرح لغرض اطاعة الحدود المصرح بها للطرح. ولغرض توضيح هذه الاطاعة فانها تكون مسؤولة عن القيام بمراقبة كافية وتقوم بحساب مصير المواد المشعة المطروحة عندما تطلب السلطات المسؤولة منها ذلك. ان مراقبة المطروح يجب ان تكون معززة ببرنامج مسح اشعاعي للبيئة.

1.16.8 وضع حدود طرح المواد المشعة

لغرض اطاعة الحدود الاشعاعية المحددة من قبل السلطات المختصة فان على عاتق الهيئات التشريعية المختصة وضع حدود الكميات المطروحة ومعدل الطرح للمواد المشعة الغازية والمواد المشعة السائلة. ان على عاتق ادارة المنشآت وضع مستويات مصدرية مناسبة للمنشأة المعينة لغرض التأكد بان الطرح المخطط له الى البيئة سوف يلبي جميع متطلبات الهيئات التشريعية. ولهذا الغرض فانه لا بد من اعطاء الاهتمام الخاص لوضع مستويات تنطبق على الطرح لفترات زمنية قصيرة وعلى المدى الطويل الى البيئة والى تعريف النويدات المشعة التي تهمنا.

2.16.8 السيطرة على المواد المطروحة (Control of release)

ان السيطرة على النفايات المشعة المطلقه الى البيئة تتم بواسطة الاساليب التالية

- 1 - وضع مستويات مصدرية للطرح من المنشأة للنويدات المشعة التي يعرف بانها مهمة في تشغيل المنشأة.
- 2 - وضع طرائق للحصول على نماذج تمثله من النفايات المشعة التي يجري اطلاقها.

- 3- تحليل مكونات النويدات المشعة وكمياتها.
- 4- وضع معدلات للطرح واصدار تصاريح طرح لكل وجبة.
- 5- وضع اساليب لطرح المواد المشعة ولغرض مراقبة المطروح ولغرض تسجيل المعلومات حول كل طرح.

وطبقا لمتطلبات واساليب ادارة المنشأة النووية والجهات التشريعية فانه يجب تطبيق نظام مراقبة بيئية. ان ذلك يشمل جمع نماذج مختلفة (نباتات و مترسبات واسماك وحليب وهواء والاطواء البيئية الاخرى).

ان النماذج يجب ان تجمع بصورة دورية من مناطق خارج الموقع وان التحليل لاي نشاط اشعاعي يعزى الى النفايات المشعة المطلقة من اية منشأة. ان الغرض من هذا البرنامج هو لغرض التأكد من انه لم يحدث انحراف كبير من النموذج الذي وضعت بموجبه حدود الطرح المصرح بها وبالاخص فانه لم يحدث تراكم فعالية في اي وسط بيئي.

وفيما اذا حدث طرح غير مسيطر عليه او ان المواد المشعة قد طرحت الى البيئة دون الاساليب المعتمدة فانه يقع على عاتق ادارة المنشأة القيام بما يلي

- 1- تخمين مقدار الطرح بواسطة اتخاذ الخطوات المناسبة مثل جمع النماذج والمراقبة لفترة زمنية تتناسب مع شدة الحالة.
- 2- واذا تطلب ذلك اتخاذ اجراءات الطوارئ.
- 3- تبليغ الجهات التشريعية المسؤولة حسب للمتطلبات.
- 4- التحري عن الحالة واتخاذ الاجراءات الملائمة لتصحيح الحالة.

المراقبة الاشعاعية لانظمة التشغيل

ان المراقبة الاشعاعية لخطوط التشغيل والانظمة في المنشأة يجب ان تجري كلما كان ذلك ضروريا بوصفها وسيلة سيطرة متعلقة بالطرح (او لمنع

الطرح غير المسيطر عليه) للمواد المشعة. ان مثل هذه المراقبة يجب ان تتم باخذ نماذج دورية او بواسطة اجهزة نظام مراقبة مركزي. ان نتائج هذه المراقبة يجب ان تكون متوفرة بصورة سريعة للمشغل (في غرفة السيطرة مثلا) لاتخاذ الاجراء التصحيحي المناسب عندما يكون ذلك ضروريا.

ان اجهزة المراقبة الاشعاعية يجب ان تنصب في اي نظام معاملة يحوي سوائل ربما تصبح منشطة اشعاعيا وان يكون لها احتمالية للاطلاق من المنشأة. ولغرض توضيح المعلومات المستحصلة من اجهزة المراقبة المنصوبة فانه يجب توفير امكانيات لغرض اخذ النماذج والقياس الدوري لمثل هذه السوائل وخاصة من تلك التي في نقاط الاطلاق ويجب اتخاذ الاجراءات الكفيلة بتغيير اجهزة المراقبة فيما يخص قراءاتها مع المطروح الفعلي.

17.8 التعرض غير الطبيعي للسكان والاجراءات التصحيحية

عند الوضع او الموافقة على الاجراءات التصحيحية فان السلطات المسؤولة يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار الحقيقة فبان معظم الاجراءات التصحيحية التي يمكن ان تطبق لتقليل تعرض افراد المجتمع بعد الطرح نتيجة الحوادث للمواد المشعة سوف تسبب بعض الاضرار للسكان المعنيين فيما اذا كان ذلك خطورة على الصحة او بعض الصعوبات الاجتماعية. ولهذا فان الفائدة من القيام بالاجراءات التصحيحية (تقليل التعرض) يجب ان توازن ضد الضرر الناتج. ان الاجراءات التصحيحية يجب ان تتخذ فقط عندما يكون هنالك فائدة ايجابية صافية الى السكان المعنيين.

عند التفكير بالاجراءات التصحيحية فان السلطات المسؤولة يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار حجم المجتمع المشمول وسرعة ادخال الاجراءات التصحيحية ولربما يكون هنالك وقت غير كاف للقيام باجراءات تصحيحية فعالة على مساحة واسعة او لعدد كبير من السكان وفي هذه الحالات فان محاولة القيام باجراءات تصحيحية سوف تلحق ضررا اكثر مما تحقق نفعا.

ان على السلطات المسؤولة ان تضع حدودا لا يعتبر التدخل عند عدم تجاوزها مبررا. ان مستويات التدخل يجب ان توضع بصفة مكافئة جرع فردية او تناول ولكن كلما كان ذلك ممكنا فانه يجب اعطاء حدود تدخل مشتقة موضوعة بطريقة تنطبق على نتائج القياسات التي تؤلف جزءاً من نظام المراقبة.

18.8 خطة الطوارئ

يجب تحضير خطة للطوارئ من قبل ادارة المنشأة مصادق عليها ومطبقة من قبل السلطات المسؤولة. وتكون هذه الخطة منطبقة متى ما اصبح عدد من افراد السكان معرضا الى التعرض نتيجة الحادثة الذي يتجاوز الحدود الموضوعه ذات العلاقة من قبل السلطات المختصة.

ان خطة الطوارئ يجب ان تكون مستندة الى دراسة المترنبات الاشعاعية للمواد المشعة المطروحة التي تتبع حادثا مصدريا. ان الخطة مع هذا يجب ان تكون مرنة بما فيه الكفاية للتطبيق على الحالات الفعلية حيث انها تختلف بصورة عامة عن الحادثة المصدرية. ان مستويات التدخل ومستويات التدخل المشتقة يجب ان لا تطبق بصورة ذاتية ولكن يجب ان تعامل بصفة مستوى مصدرى وضع بوصفه خطوطا عريضة لاتخاذ القرار وانه يجب اخذها بنظر الاعتبار بالاضافة الى جميع المعلومات الاخرى المتيسرة في الوقت الذي يتم فيه مناقشة التدخل ومع هذا فان الاجراء يجب ان يتخذ قبل توفر معلومات المراقبة ان هذه سوف تبدأ باحداث بادئة (مثل فشل بعض المكونات) والتفسير المستمر للمعلومات المتوفرة حول طبيعة الحادث ومترنباته المحتملة وليس بواسطة المستويات المصدرية. ان خطة الطوارئ يجب ان تحوي.

- 1- وصف هيكل الجهاز الذي يتعامل مع الحالة الطارئة.
- 2- مخططا لطرائق الاتصال ضمن المنشأة ومع السلطات المسؤولة المناسبة خارج المنشأة.

- 3- مخططا للمراقبة الخاصة المطلوبة لتقدير الحالة .
- 4- شرحا لمختلف الاعمال التصحيحية المتوفرة لتقليل التعرض السكاني للاشعاع وشرحا لفعالية ومرتبات هذه الاجراءات تحت مختلف الظروف .
- 5- وصفا عاما للمستلزمات البشرية والمادية اللازمة للقيام بهذه الاجراءات التصحيحية موضع التنفيذ .
- 6- مستويات التدخل ومستويات التدخل المشتقة (الجدول 1.8 والجدول 2.8) .
- 7- المشاكل الاخرى التي تعتبر ضرورية فيما يخص السلطات المسؤولة .

الجدول 1.8 مستويات مكافئ الجرعة للاجراءات التصحيحية في الطور المبكر

مكافئ الجرعة (mSV)		الاجراء التصحيحية
الاعضاء	الاعضاء	
الرقبة والغدة الدرقية واي عضو مفرد يشعع وحدة فقط	عموم الجسم	
500	50	اللجوء الى الابنية واعطاء البود المستقر
50	5	حدود الجرعة العليا
		حدود الجرعة الدنيا
		الاجلاء
5000	500	حدود الجرعة العليا
500	50	حدود الجرعة الدنيا

x في حالة التشعيع بجسيمات الفا للرقبة فان القيمة العددية تطبق على الفعالية البايولوجية النسبية (RBE) وعلى الجرعة الممتصة (mGy) ان هذه الفعالية البايولوجية النسبية يتوقع لها ان تكون

اقل من 10 بدرجة كبيرة

المصدر ICRP 40, (1984) 64

الجدول 2.8 حدود مكافئ الجرعة للأجراء التصحيحية في المرحلة الوسطى

مكافئ الجرعة الاشعاعية المتبقية (mSV) للسنة الاولى

الاجراءات التصحيحية		الاعضاء المفردة التي تشعع بمفردها	عموم الجسم
السيطرة على الاغذية			
الحدود العليا		500	50
الحدود الدنيا		50	5
النقل الى مناطق اخرى			
الحدود العليا		} غير متوقعة	500
الحدود الدنيا			50

المصدر ICRP 40, (1984) 64

(8) . اجراءات تنسيق المعلومات بين المسؤولين والسكان . ان المراقبة الخاصة وجمع المعلومات اللازمة الذي يلي الحادث مباشرة يجب ان يكون له الاهداف التالية

أ - بنود لتقدير الحالة وللقرار حول الحاجة للتدخل الذي يعني معرفة اي جزء من البيئة المجاورة سوف يتأثر والى اي درجة .

ب - تقدير تعرض السكان

ج - تحسين تنبؤ المتربات في مثل هذه الحالات .

ان اي حادث عرضة لان يسبب تعرض السكان ان مستويات غير اعتيادية للاشعاع يجب ان يبلغ عنه بوصفه حالة عاجلة من قبل ادارة المنشأة الى السلطات المسؤولة المناسبة .

الفصل التاسع

تقدير الخطورة الناتجة من الاشعاع

Radiation Risk Assessment

الفصل التاسع

تقدير الخطورة الناتجة من الاشعاع

Radiation Risk Assessment

تشمل حماية الناس ضد الخطر الحقيقي والمحتمل للاشعة المؤينة تظافر كبير في الجهود وفي المجالات التي تشمل الفن والعلم والهندسة والفلسفة. ان احتمال وجود الخطر قد جرى تمييزه بعد اسابيع قليلة من اكتشاف الاشعة السينية في سنة 1895 ومنذ ذلك الوقت المبكر جرى الاهتمام بدرجات متفاوتة بمشاكل حماية الناس من التأثير الضار للاشعاع. ونتيجة لهذه الجهود فان طبيعة الاشعاع وتأثيراته قد عرفت بصورة افضل من اي مادة سامة.

ان الجهود الجماعية على هذه المشاكل لم تبدأ الا بعد عقدين من الزمن من اكتشاف الاشعاع وبالرغم من الجهود المبذولة لغاية الوقت الحاضر فانه قد ظلت هناك شكوك كثيرة واختلافات مهمة لتفسير تأثيرات الاشعاع.

كما ان الاشعاع بوصفه عاملاً خطراً قد حظي باهتمام واسع من الرأي العام ولقد دعت جماعات متعددة الى نبذ استعماله حيث ادعت ان الصالح العام الناتج عنه اقل من مضاره وبما ساعد على ذلك انه لا يمكن رؤية الاشعاع او سماعه او تحسس منه من قبل البشر ولذلك فان له قابلية كبيرة على الاذى ليس فقط فيما يخص الافراد ولكن كذلك فيما يخص الاجيال المقبلة.

ومن الممكن معرفة وجود الاشعاع المؤين بصورة افضل من اي مادة اخرى كما ان من الممكن قياسه بصورة افضل بمستويات تقل كثيراً عن مستوى العوامل الاخرى المسببة للضرر والمشاكل الصحية وانه لو جرى تطبيق المبادئ والنواحي العملية لعلم السموم على الاشعة المؤينة فانه يتوقع ان يتم تخفيض الضوابط الشديدة الموجودة على الاشعاع المؤين الى درجة كبيرة.

1.9 تاريخ نشوء الوقاية من الاشعاع

من الممكن تقسيم نشوء اسس الوقاية من الاشعاع الى احدى عشرة

فترة هي

الفترة الاولى (1895 - 1913): لم يكن خلال هذا الوقت اي جهد جماعي منتظم لغرض وضع معايير للوقاية من الاشعاع. (Protection standards) بالرغم من الاهتمامات المؤقتة بالحاجة الى الوقاية من الاشعاع.

الفترة الثانية (1913 - 1922): وخلال هذه الفترة اتخذت اول اجراءات جماعية في بداية هذه الفترة ولكن اتمام هذه الجهود قد تأخر بفعل قيام الحرب العالمية الاولى التي دارت من سنة 1914 لغاية سنة 1918 وبسبب الحرب فان استعمال الاشعة السينية قد ازداد كثيرا لتلبية احتياجات الجيوش. لقد تم خلال هذه الفترة استعمال انبوب كولييج (Hot cathode Coolidge tube) حيث ادى ذلك الى حدوث اصابات لعدد من العاملين في حقول الاشعاع (Radiologists) ونتيجة لذلك فقد تم وضع وصايا عامة للوقاية من الاشعاع من قبل هيئة الاشعة السينية والحماية من الراديوم البريطانية (British X-ray and radium protection committee) والهيئات المماثلة في الولايات المتحدة الامريكية والمانيا ولم يتبلور خلال هذه الفترة اتفاق حول القياسات الفيزيائية.

الفترة الثالثة (1922 - 1928): بالاضافة الى الاجراءات المتخذة في بريطانيا والولايات المتحدة الامريكية والمانيا فقد بدأ نشوء مجاميع في كل من هولندا والسويد والدنمارك وغيرها من الدول ولقد ابتدأ في ذلك الحين تحول في استعمال الوحدات البايولوجية لجرعة احمرار الجلد (Skin erythema dose) الى الوحدات الفيزيائية بالاستناد بالدرجة الاساس الى قياسات التأين. ان المقترح الاول للجرعة التي يمكن احتياها (Tolerance dose) قد تم وصفه. كما ان الاجتماع العالمي الاول لمجلس اطباء الاشعاع (First International Congress of Radiology) الذي عقد في سنة 1925 قد لاحظ الحاجة الى اتخاذ اجراء في مجال الوقاية من الاشعاع ولكنه قد اجل اتخاذ قرار رسمي لحين اجتماع المجلس الثاني الذي تم عقده في سنة 1938 ولقد جرت في تلك الفترة فعاليات كبيرة جدا في مجال تقدير وقياس الاشعاع.

الفترة الرابعة (1928 - 1934): لقد تم تأسيس الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (International Commission on Radiological Protection) اثناء

اجتماع المجلس العالمي الثاني لاطباء الاشعة وقد قام باصدار اول مجموعة من
الوصايا العالمية للوقاية من الاشعاع ولقد جرى تأسيس هيئة اخرى في سنة
1929 في الولايات المتحدة الامريكية هي الهيئة الاستشارية للوقاية من
الاشعة السينية والراديوم (The Advisory Committee on X-ray and Radium
Protection) والتي غير اسمها لاحقا الى المجلس الوطني للوقاية وقياسات
الاشعاع (National Council on Radiation Protection and Measurements)
ان الفعاليات في مجال الوقاية من الاشعاع الالمانية قد نتج عنها سلسلة DIN
حيث تم توفير النتائج الكمية. ان اعتماد الرونكن العالمي (International
Roentgen) ورمزه r في سنة 1928 قد ادى الى اعتماد قيمة عددية للجرع
التي يمكن احتماها لقد جرى بعد ذلك اعادة تعريف الرونكن لكي يشمل
الاشعة السينية ذات القدرة العالية (Higher Voltage X-rays) وكذلك
استعمال اشعة كاما المنبعثة من الراديوم وبهذا تم التمكن من توسيع مجال
استخدام الجرع التي يمكن احتماها. ان المشاكل التي حدثت مع اشعة الفا
وبيتا والنيوترونات قد ادت الى البحث عن وحدات وكميات جديدة وطرائق
لحساب الجرع.

الفترة الخامسة (1934 - 1941): لقد جرى تكثيف للوصايا بالاستناد الى الجرع
التي يمكن احتماها للاشعة السينية والجرع التي يمكن احتماها وقيم التحمل
الجسمية (Body-burden values) للراديوم. لقد ابتداء الاهتمام في هذه الفترة
بالتأثير الوراثي للاشعاع وقد اصبح استعمال انايب توليد الاشعة السينية في
اوعية ذات حواجز سميكة قاعدة وقائية.

الفترة السادسة (1941 - 1946): لقد تم تطوير مشروع الطاقة الذرية بصورة
سرية في الولايات المتحدة الامريكية تحت غطاء ظروف الحرب وقد رافق ذلك
تجارب مستفيضة على التجارب الطبية الحيوية (Biomedical -
experimentation) وعلى التقدير. ان قيم الجرع التي لا يمكن احتماها قد تم

اعتمادها في سنة 1944 وقد استعملت بعد التأكد من انها تبدو كافية لانواع الاشعاع الجديدة. لقد تم ادخال وحدات الريم (rem) والريب (rep) .

الفترة السابعة (1946 - 1953): لقد تم استنباط قواعد فلسفية واسعة حول الخطر من الاشعة وحول مقاييس الوقاية من الاشعاع اول مرة مع الاخذ بنظر الاعتبار كثيرا من انواع الاشعاع وحالات التشيع التي يجب التعامل معها ولقد ابدل مفهوم الجرعة التي يمكن احتمالها بمفهوم الجرعة القصوى المسموح بها (Maximum permissible dose concept) كما ان الوقاية من الاشعاع قد حظيت باهتمام جديد وفي بريطانيا اصبحت هيئة البحوث الطبية (Medical Research Council) هي الجهة الاستشارية للحكومة ولقد اجريت تجارب على الاسلحة النووية مما ولد اخطارا على مستوى لم يكن سائدا قبل ذلك الوقت ولقد وضعت وصايا متطورة على المستوى الوطني والعالمي في بلدان متعددة.

الفترة الثامنة (1953 - 1959): لقد تم القيام بتجارب واسعة على الاسلحة النووية من قبل عدد من البلدان مما نتج عنه تساقط المواد المشعة على النطاق العالمي مما سبب تعرض سكان العالم الى الاشعاع حيث سبب ذلك مشاكل بيئية خطيرة. لقد انصب الاهتمام العالمي على هذه المشاكل ليس فقط فيما يخص العاملين في حقول الاشعاع وانما لعامة الناس كذلك. ولقد ظهرت فكرة الجرعة الوراثية المؤثرة (Genetically significant dose) ولقد بدأ الاهتمام كثيرا بالتعرض الى الاشعاع وبضمنه التعرض الى الاشعاع الناتج عن الخلفية الاشعاعية ومن التعرض الطبي. لقد كانت هنالك مجموعتان رئيستان في العالم فقط مهتمتان بالوقاية من الاشعاع في بداية هذه الفترة هما ICRP و NCRP ولكن في بداية سنة 1955 اهتمت منظمات وطنية وعالمية جديدة بهذه المشكلة وقد شمل ذلك الامم المتحدة التي قامت بانشاء الهيئة العلمية لتأثيرات الاشعة

الذرية U.N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ومختصرها UNSCEAR ومجمع العلوم الوطني الامريكي (U.S. National Academy of Science) الذي انشأ مجموعة استشارية حول التأثير البيولوجي للاشعة الذرية (Ad Hoc Committee on the Biological Effects of Atomic Radiation)

(Radiation) ولجنة البحوث الطبية البريطانية التي انشأت لجنة همسورث الخاصة بالخطورة على الانسان من الاشعاع الذري (Himsworth Committee on the Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiation) وقد نظمت في الولايات المتحدة كذلك لجنة الاشعاع الاتحادية (Federal Radiation Council) لغرض وضع معايير الوقاية. لقد ابتدأت في الولايات المتحدة لجنة مشتركة للطاقة الذرية (Joint Committee on Atomic Energy) التي استمعت الى سلسلة من المناقشات التي تركزت على مشاكل الاشعاع لتلك الفترة. لقد اقيم اول مؤتمر للذرة من اجل السلام (Atom for peace Conference) في سنة 1955 تبعه مؤتمر ثاني في سنة 1958 الذي تم التركيز فيه على مشاكل الوقاية من الاشعاع.

لقد ابتداء قلق السكان عالميا حول المشاكل التي حدثت على النطاق العالمي ولقد اتشعت عمليات لجنة الطاقة الذرية الامريكية كثيراً ولقد ساهمت التجارب على الاسلحة النووية لكل من الولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي وانكلترا وفرنسا في ازدياد النشاط الاشعاعي في الطبيعة الناتج من المتساقطات الذرية. لقد كثر القلق حول التأثير الوراثي للاشعاع ولقد ابتدأت المقارنة بين الخطورة المتولدة من الاشعاع والخطورة الناتجة من مهن اخرى كالتعدين والبناء.

الفترة التاسعة (1959 - 1965): لقد كانت هذه الفترة فترة تعبئة حيث تم ايقاف التجارب على الاسلحة الذرية في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي وقد تم الحصول على معلومات جديدة لا تثير القلق حول التأثير الوراثي للاشعاع ولقد تم تقييم الحالة على مستويات عالية من قبل الامم المتحدة وهيئات ICRP و NCRP والمجاميع الاخرى.

لقد اجرت اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) سلسلة من الدراسات المتعلقة بتأثيرات الاشعاع التي ادت الى فهم اوضح لهذه التأثيرات ولقد بدأت الدلائل تشير الى ان لربما كانت التأثيرات الجسمية (Somatic

effects) اكثر اهمية ومدعاة لقلق اكثر من التأثيرات الوراثية ولقد بدأت معلومات قيمة بالتراكم نتيجة تحليل تأثير الاشعاع على سكان اليابان الذين تعرضوا الى الاشعة نتيجة تفجير القنابل الذرية ،

الفترة العاشرة (1965 - 1977) : لقد تميزت هذه الفترة بتكثيف البحوث التي جرت في السنوات السابقة بالاضافة الى دخول الموضوع الى السياسة بحيث اصبحت الوقاية من الاشعاع احد المواضيع التي يتحدث فيها الساسة. ان الالهمية الكبرى للتأثيرات الجسمية مقارنة بالتأثيرات الوراثية قد جرى تأكيدها بينما بقيت الاسباب الاساسية لتأثيرات الاشعاع غير محسومة .
لقد ظهرت مشكلة مهمة جدا وهي ردم النفايات المشعة عالية النشاط الاشعاعي وذات اعمار نصف طويلة جدا وخاصة البلوتونيوم .

الفترة الحادية عشرة (1977 - 1986) : لقد حدث تغيير جذري خلال هذه الفترة حيث اصدرت اللجنة العالية للوقاية من الاشعاع عام 1977 تقريرها رقم 26 (ICRP publication 26) الذي وردت فيه المفاهيم جديدة خالفت كثيرا من الناحية المتعلقة بالوقاية من الاشعاع وحدود الجرعة المسموح بها قبل ذلك الوقت. لقد ظهر في هذا التقرير نظام جديد للوقاية من الاشعاع هو نظام تحديد الجرعة الذي تم التكلم عليه في الفصل الثامن بصورة مفصلة . ان الاختلافات الرئيسة عن المفاهيم السابقة تتعلق في ان حدود التعرض السابقة تعتبر الحدود العليا للمستويات السليمة وقد اوصى بها بوصفها هدفا للوصول اليه في التصميم والتخطيط ولقد كان مقبولا بالعمل لغاية الوصول الى حدود الجرعة الموضوعة وانه لم يكن يوجد تشجيع لخفض الجرعة الى اقل من المستويات التي تكون تحت الحد الاقصى بينما تبلغ حدود الجرعة الحالية الحدود الدنيا للمستويات غير المقبولة حيث انه عندما تكون الجرعة اقل من الحدود فان ذلك لا يعني ظروفنا للقبول . ان التوصية الاساسية هي ابقاء الجرعة الى اقل ما يمكن الحصول عليه بصورة منطقية بالاضافة الى تغيير الحدود المسموح بها لتراكيز المواد المشعة في الماء والهواء الى الحدود السنوية للتناول وتراكيز الهواء المشتقة بالاضافة الى الغاء الحدود الربعية الواردة قبل توصية سنة 1977

والغاء المعادلة المتعلقة بالعمر $D = 5(N - 18)$ ومن التطورات الاخرى التي حدثت في هذه الفترة اعتماد وحدات SI بدلا عن الوحدات القديمة في مجال الوقاية من الاشعاع. لقد صدر في العراق قانون جديد للوقاية من الاشعاع في سنة 1980 وهو القانون رقم 99 حيث سمى القانون هيئة للوقاية من الاشعاع من المختصين في مجال الوقاية من الاشعاع واسس بموجب القانون مركز للوقاية من الاشعاع ولجنة طبية خاصة بالعاملين في حقول الاشعاع. لقد شهدت هذه الفترة تطورا خطيرا جدا يزيد من متطلبات الوقاية من الاشعاع. ولا سيما وقاية السكان بالدرجة الاساس حيث قام العدو الصهيوني بضرب المفاعل النووي العراقي المخصص للاغراض السلمية. ان من المحتمل ان تحصل تطورات اخرى في مجال الوقاية من الاشعاع للفترة التي تلي سنة 1986 ومنها ابطال استعمال الوحدات القديمة في سنة 1985 وربما شهد كذلك تقليلا لحدود الجرعة المسموح بها وخاصة لمطلقات جسيمات الفا كما ان حادثة شرنوبيل في الاتحاد السوفيتي لعام 1986 سوف تؤدي بلا شك الى اعادة النظر في كثير من المفاهيم والاجراءات المتعلقة بالوقاية من الاشعاع.

2.9 . تطور حدود الجرعة الاشعاعية

لقد تطورت التوصايا الخاصة بالوقاية من الاشعاع منذ سنة 1925 لحد سنة 1977 ان اولى التوصايا كان 0.1 جرعة الاحمرار (Erythema dose) في السنة 1925 حيث اقترحت من قبل A. Mutscheller و R.M Sievert ولقد كانت تساوي هذه الجرعة نحو 30 R في السنة من 100 KeV اشعة سينية او 70 R في السنة من 200 KeV اشعة سينية. في سنة 1925 اوصت الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP بـ 0.2 R في اليوم وفي سنة 1937 IR في الاسبوع وخلال الثلاثينيات لم تعط الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع اية توصيات بشأن تعرض اجزاء الجسم او حول التلوث الداخلي. لقد ظهرت الاشارة الاولى الى حدود الجرعة للاعضاء بصورة منفردة

التي كانت تساوي (International Roentgen) في ذلك الحين (r)

ضمن وصايا الـ ICRP في سنة 1950 وفي هذه الوصايا تم التمييز بصورة واضحة بين تعرض عموم الجسم وبين ما دعي بالنسيج الحرج (Critical tissue) ولقد تم تخفيض الجرعة الى $0.5 R'$ في اي اسبوع واحد والتي تساوي $0.3r$ في الاسبوع مقيسة في الهواء (Free air) ولقد فسر السبب بأن التوصية السابقة والبالغة $1r$ في الاسبوع على ما يبدو قريبة من الحد الحرج لحدوث التأثيرات الضارة.

اما تشيع عموم الجسم بواسطة اشعة بيتا ذات الطاقة العالية فان الحدود لسنة 1950 كانت فيضا بحيث تكون الطاقة الممتصة في الانسجة السطحية مكافئة الى اشعة كاما القوية (Hard gamma rays) ولقد اعطيت نفس القيمة الى تعرض الكفوف والسواعد الى الاشعة السينية واشعة بيتا وكاما وهي على ما يبدو منشأ حدود الجرعة المستعملة والتي مقدارها 75 rem للكفوف والتي شملت لاحقا الاقدام والكاحل حيث ظهرت اول مرة ضمن توصيات عام 1954 ولقد تم الغاء هذه الحدود بتوصيات 1977 .

ان توصيات عام 1950 قد نصت على ان حدود الجرعة قد وضعت بالدرجة الاساس لعموم الجسم ومع ذلك فان تعرضا الى جرعة اعلى يجب ان لا يسمح به لاي عضو او نسيج ما عدا حالة الكفوف والسواعد. لقد ظن ان جرعة $0.3 r$ في الاسبوع تمثل رقما مناسباً لتعرض اي نسيج حرج ما عدا الجلد وبهذا فان قيمة الـ $0.3 r$ في الاسبوع توازي حدود الجرعة بالمفاهيم الحالية المساوية الى 15 rem في السنة والتي اوصي بها لجميع الانسجة تقريبا لغاية سنة 1977 . ان هذه القيمة قد استعملت لحساب التراكيز القصوى المسموح بها.

(Maximum permissible concentrations) ومختصرها MPCs لعدد من النويدات المشعة بضمنها الكوبلت - 60 (الكبد) واليود - 131 (الغدة الدرقية) ولذا فانه في سنة 1950 كانت حدود مكافئ الجرعة لكل الانسجة ما

عدا الاطراف تبلغ 15 rem ومن سنة 1951 فصاعدا جرى احداث بعض التغييرات لاعضاء وانسجة معينة في الجسم وعلى النحو الاتي

أ - الاعضاء (الغدد) التناسلية (Gonads) : لقد تم ذكرها لأول مرة في توصيات (ICRP) في عام 1954 وذلك لعلاقتها بالخصوبة وفي ذلك الحين كانت حدود الجرعة تبلغ 300 mr في الاسبوع وفي سنة 1956 عدلت التوصيات حيث خفضت الى 0.1 rem في الاسبوع ولقد تم ذكر التأثيرات الوراثية بصورة واضحة عام 1956 والتي حددت الجرعة للاعضاء التناسلية على شكل معادلة $(D \approx 5(N-18))$ مع سرعة تراكم قصوى مقدارها 3 rem في ربع سنة ولكن مع هذا فانه لا في وصايا عام 1959 ولا وصايا عام 1965 قد تم ربط التأثيرات الوراثية بتشعيع الاعضاء التناسلية ولهذا فان حدود الجرعة الحالية للاعضاء التناسلية البالغة 5 rem في السنة المحددة بالمعادلة الملغاة لم ينص على ان الغرض منها تقليل التأثيرات الوراثية.

ب - نخاع العظام الاحمر: لقد ظهر هذا المصطلح لأول مرة في وصايا عام 1965 والذي كان يقع سابقا ضمن جملة اعضاء توليد الدم التي ظهرت في وصايا عام 1950 ولكن لم يظهر ايضا لما هو مقصود بهذه الجملة ولا عن اهميتها الحيوية وحتى في وصايا عام 1965 التي اشير فيها عدة مرات الى الحث على حدوث مرض السرطان الدم (Leukemia) لم يجر عزو هذا التأثير الى تشعيع لنخاع العظام الاحمر ولم يعط اي سبب للتغيير من الاعضاء المولدة للدم الى نخاع العظام الاحمر ولكن قد تمت الاشارة الى هذا الموضوع خلال المؤتمر الذي عقد في سنة 1949 (Chalk River Conference). الى ان الاعضاء المولدة للدم تعتبر ذات اهمية في نشوء مرض سرطان الدم وان هذه الاعضاء قد اعتبرت الطحال والنخاع الذي يقع على مسافة 5 سنتيمتر تحت سطح الجسم وهذا هو العمق الذي اعطي في توصيات سنة 1950 وسنة 1954 للاعضاء المولدة للدم والتي حددت جرعتها بـ 0.3 r في الاسبوع. ان هذه القيمة قد جرى تخفيضها في توصيات سنة 1957 الى كمية تحدد في المعادلة

$D=S(N-18)$ الملغاة حاليا مع اضافة الفقرة بأن الجرعة التراكمية في اية ربع سنة لا تتجاوز 3 rem . اما الاعضاء التناسلية فإن الحدود الحالية قد اعطيت الى نخاع العظام في وصايا عام 1965 دون ذكر سبب واضح .

جـ - الجلد : بالرغم من ذكر الجلد في وصايا عام 1950 والذي نص على انه استثناء واضح للانسجة التي لها حدود جرعة مقدارها 0.3 r في الاسبوع فانه لم تعط حدود جرعة للجلد . ان حدود الجرعة الوحيدة التي قد تنطبق على الجلد هي 1.5 r في الاسبوع والتي حددت لتعرض الايدي والسواعد وفي سنة 1954 اوصي بحدود جرعة مقدارها 0.6r في الاسبوع تنطبق على الطبقة الاساسية للبشرة (Basal layer of epidermis) في مساحة ذات اهمية مقدارها 1سم² ان اسس قيمة 0.6r في الاسبوع تبلغ 30rems في السنة على ما يبدو انها الجرعة السطحية المماثلة الى 0.3r على مسافة 5سم والتي افترضت بصفة موقع للاعضاء المولدة للدم .

ان حدود الجرعة للجلد بقيت دون تغيير منذ وصايا عام 1954 ولم تعط مبررات للقيمة 30 rems في السنة التي اعطيت في وصايا عام 1965 .

د - العظام : هنالك توصية مبكرة حول الراديوم في الجسم ظهرت في كتاب NBS Handbook H27 المنشور في سنة 1941 وتنص على ان اي عامل يظهر ترسب مقداره 0.1 جزء بالمليون من الغرام من الراديوم الذي يظهر في هواء الزفير يجب ان يغير مهنته حالا وانه يجب علاجه بازالة التكلس (Decalcification therapy) او اي اجراء اخر مستتبطن لهذا الغرض وعلى ما يبدو فانه لم تستعمل مثل هذه الاجراءات .

ان وصايا 1950 الصادرة من قبل ICRP تنص على ان الحد الاقصى للراديوم المثبت في الجسم هو 0.1 مايكروكيوري وان هذه القيمة قد اعطيت كذلك في وصايا عام 1959 ان هذا الحد قد تم علاجه في اضافة اجريت في عام 1960 والتي اشتملت على قيمة 30 rems في السنة للعظام استنادا الى كمية 0.1 جزء بالمليون من الكيوري من الراديوم - 226 موجودة في الجسم . ان وصايا عام 1965 لم تشر الى الراديوم وقد اعطت

قيمة 30 rem في السنة بوصفها حدودا للجرع فيما يخص العظام. ان العامل المحدد لقاصدات العظام (Bone seekers) حسب توصيات ICRP يجب ان يستند الى الجرع للخلايا الحرجة في العظام بدلا من معدل الجرع الى كل العظام. ان الخلايا الحرجة تكون موجودة على سطوح العظام (Endosteal cell) والتي تنطبق على حدود 15 rems في السنة وخلايا نخاع العظام الاحمر التي تنطبق عليها حدود 5 rems في السنة لغاية 1977.

هـ- الغدة الدرقية: لقد ذكرت اول مرة في وصايا عام 1950 الصادرة من قبل ICRP حيث اعطيت قيمة 0.3r في الاسبوع بصفة حد للجميع وفي وصايا عام 1959 اعطيت قيمة 30 rem في السنة بصفة حد اقصى للغدة الدرقية وقد استثنت الغدة الدرقية للاطفال تحت سنة 16 سنة من هذه الحدود وخفضت الجرعة العليا المسموح بها الى 1.5rem في السنة لانه ربما تكون الانسجة المكونة للغدة الدرقية لهؤلاء الاطفال اكثر حساسية للاشعاع من انسجة الغدة الدرقية للبالغين ويوضح الجدول 1.9 الذي ظهر في منشور اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP الرقم 9 لسنة 1965 (ICRP Publication 9) اصل حدود الجرع الحالية.

ولقد تبدلت هذه الحدود في سنة 1977 في تقرير الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) الرقم 26 (ICRP Publication 26) الصادر في سنة 1977 الى 5 rem (50 mSv) في السنة لعموم الجسم للعاملين و 50rem (500 mSv) في السنة لكل الاعضاء والانسجة الاجزئية ما عدا عدسة العين التي تكون حدود الجرع لها 15rem (150 mSv) للعاملين في حقول الاشعاع و 1/10 هذه الجرع لعامة الناس.

الجدول 1.9 اصل حدود الجرعة الإشعاعية الحالية

العضو او النسيج	الجرع القصوى المسموح بها للبالغين المعرضين الى الاشعاع نتيجة عملهم في السنة	حدود الجرعة لعامة الناس في السنة
الاجهزة التناسلية ونخاع العظام الاحمر	5 rem	0.5 rem
الجلد والعظام والغدة الدرقية	30 rem	3 rem
الايدي والاذرع والاقدام والكاحل	75 rem	7.5 rem
اي عضو مفرد	15 rem	1.5 rem

* 1.5 rem الى الغدة الدرقية للأطفال لغاية 16 سنة

معامل النوعية (Quality factor)

ان معامل النوعية قد اعطي من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) وقد اعطيت قيم لمعامل النوعية Q (الجدول 2.9) في منشورها رقم (ICRP Publication 26) لقيم مختلفة لقوة ايقاف الارنظام (Collision Stopping Power) في الماء (L_H) في النقطة المثيرة للاهتمام.

ان القيم التي في الجدول 2.9 قد رسمت لمعامل النوعية بدلالة L_H في الماء (الشكل 1.9).

ان قيم Q المعطاة بدلالة L_H من قبل هيئة الـ ICRP اذا كانت معروفة في النقطة المثيرة للاهتمام وانه لا توجد اي معاملات تخوير اخرى فيكون

$$H = \int_0^{\infty} Q(L_{\infty}) \cdot \frac{dD}{dL_{\infty}} \cdot dL_{\infty} \dots\dots\dots (9.1)$$

$$\bar{Q} = \frac{H}{D} = \frac{1}{D} \int_0^{\infty} Q(L_{\infty}) \cdot \frac{dD}{dL_{\infty}} \cdot dL_{\infty} \dots (9.2)$$

وان معدل معامل النوعية Q في النقطة المثيرة للاهتمام يمكن ان يحسب كما في المعادلة

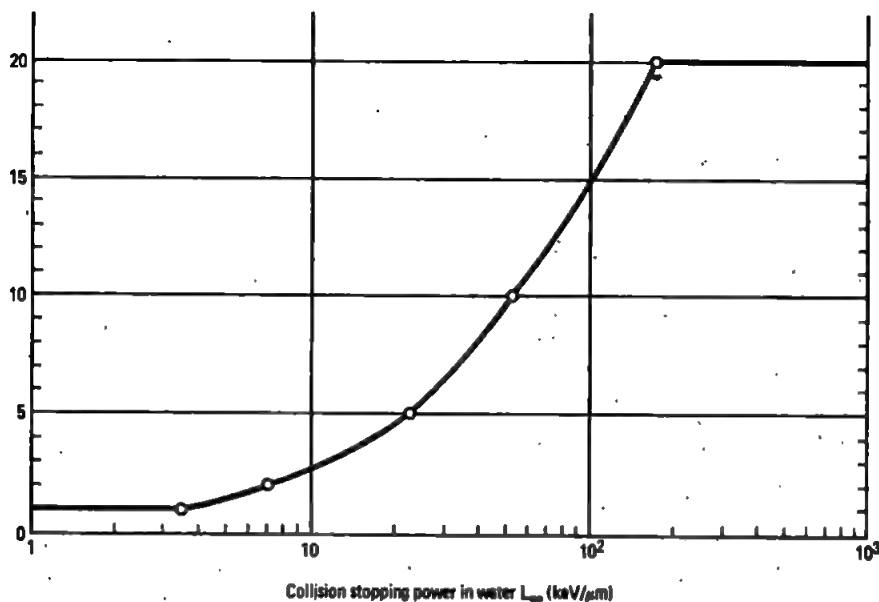
وعندما لا يعرف توزيع الاشعاع في L_{∞} في جميع النقاط في الحجم المثير للاهتمام فان من المسموح به استعمال قيم تقريبية لـ Q لها علاقة بالانواع المختلفة من الاشعاع الابتدائي . ان من الممكن استعمال القيم التي في الجدول 3.9 لهذا الغرض للاشعاع الخارجي والاشعاع الداخلي .

الجدول 2.9 علاقات معامل النوعية Q مع قيم قوة الايقاف الارتطامي (L_{∞}) في الماء

L_{∞} في الماء $\frac{(KeV)}{\mu m} \leq 3.5$ 7 23 53 175

معامل النوعية Q 1 2 S 10 20

المصدر IAEA (1982) 44



قوة الايقاف الارتطامي في الماء L_{coll} (keV/μm)

الشكل 1.9 معامل النوعية بدلالة انتقال الطاقة المستقيم في الماء L_{coll}
المصدر IAEA (1982) 44

ان القيم المعطاة لمعامل النوعية Q التي في الجدولين 2.9 و 3.9 قد اعطيت للاستعمال في مجال الوقاية من الاشعاع فقط ولمقارنة مستويات التعرض الواقعية مع حدود مكافئ الجرعة او لتقدير المكوثات من الضرر التي اخذت بنظر الاعتبار عند وضع مثل تلك الحدود.

ان قيم Q و \bar{Q} قد تم اختيارها استنادا الى القيم ذات العلاقة من قيم الفعالية البايولوجية (RBE) وكذلك الاخذ بنظر الاعتبار ان العلاقة بين الجرعة/التعرض التي استعملت لاشتقاق RBE قد استندت الى تحديد المقياس من الجرعة العالية الممتصة التي يمكن عندها تقدير التغيرات المتلفة بصورة مباشرة في الانسان. ان هذه القيم لـ Q لا تكون بالضرورة ممثلة لقيم RBE للجرعة الملاحظة الاخرى. ان من المهم بصورة خاصة ان مكافئ الجرعة لا يستعمل لتقدير المترتبات المبكرة المحتملة للحوادث التي يحدث فيها تعرضا شديدا للانسان.

الجدول 3.9 قيم متوسط معامل النوعية \bar{Q}

متوسط معامل النوعية	نوع الاشعاع
1	الاشعة السينية واشعة كاما والالكترونات والنيوترونات والبروتونات والجسيمات المشحونة المفردة التي لها كتلة استقرار اكثر من وحدة كتلة ذرية واحدة.
10	جسيمات الفا والجسيمات المتعددة الشحنة
20	

* للنيوترونات الحرارية $\bar{Q} = 2.3$

المصدر IAEA (1982) 44

4.9 تقدير الخطورة لاغراض الوقاية من الاشعاع

لغرض تعريف اسس جيدة للوقاية من الاشعاع فان من المهم تقدير اية خطورة محتملة بصورة كمية لاي تعرض للاشعاع. ان الخطورة الجسمية للأفراد تنتج بصورة رئيسة من تحفيز حدوث مرض السرطان في العضو المشعع وان هذه الخطورة يمكن ان تقدر اعتمادا على تفاصيل الدراسات المرضية المتعددة للبشر المعرضين الى الاشعاع. ان تقدير خطورة التأثيرات الوراثية من التغيرات الوراثية التي تحدث في الخلايا الجنسية تستند بالدرجة الاساس الى التكرار الذي يحدث في مثل هذه التأثيرات. ان الخطورة للجرع الاشعاعية الواطئة جدا يمكن الاشارة اليها باستعمال معرفة طريقة حدوث التلف الاشعاعي في الانسجة.

ان سياسية الوقاية من الاشعاع تستند الى تحديد الجرعة الى عموم الجسم وإلى الاعضاء بصورة منفردة بحيث يؤدي ذلك الى الحد من حدوث مرض السرطان والتأثيرات الوراثية بصورة متقطعة وانه لا يتم تجاوز الحدود الحرجة للجرع التي تسبب تأثيرات غير خاضعة للاحتيالية.

ان دراسة خطورة الاشعاع الكمية قد اصبحت اساسية عندما تم ادراك ان اي تعرض مهما كان صغيرا ربما يسبب في بعض الاحيان تأثيرا ضارا. وعندما لا يمكن اعتبار اي تعرض من الاشعاع خاليا من الضرر بصورة كاملة فانه يجب تقدير ومعرفة كمية الخطورة المرافقة او درجة السلامة الموثوقة فيها اذا حُوِّظ على التعرض تحت حدود الجرعة الموصى بها.

ان من غير الكافي تقدير خطورة تشعيع الجسم كله حيث ان بعض النويدات المشعة تحجب بصورة مختارة في بعض اعضاء الجسم دون غيرها ان من المهم تقدير تكرار الضرر وخاصة تحفيز حدوث مرض السرطان الذي يمكن ان يحدث من تعرض ذلك العضو في الاقل لكتل الاعضاء التي يمكن ان يحفز حدوث مرض السرطان فيها بتكرار مهم.

ان القيم العددية لهذه التغيرات تحتاج الى الاعتماد على خبرة بشرية وذلك لان تكرار تحفيز حدوث مرض السرطان في الحيوانات يتغير كثيرا باختلاف الانواع وغالبا من ضرب لآخر وبهذا فان تمديد المقياس الكمي الى الانسان لا يمثل تقديرا موثوقا ولقد كان ذلك وما زال مسألة كبيرة وصعبة . لقد تقدم الحل كثيرا في السنوات العشر الاخيرة نتيجة اكمال عدد من المسوحات المرضية والتي تم خلالها تسجيل تكرار عدة انواع من امراض السرطان في مجاميع من السكان المعرضين للاشعاع لاسباب علاجية واسباب اخرى وتتم مقارنة ذلك بالتكرار في السكان المستغلين في المقارنة الذين يكونون غير معرضين الى الاشعاع ولمعظم هذه المسوحات فانه قد تم تتبع حالات حدوث المرض واسباب الوفاة لمدة 20 سنة او اكثر وهي المدة المحتاجة لغرض تقدير حالات حدوث مرض السرطان الكلية المحفزة بالاشعاع .

ان الخطورة للتعرض لعموم الجسم ولاربعة اعضاء وانسجة مفردة هي نخاع العظام والغدة الدرقية والرئة وثندي المرأة لتحفيز السرطان القاتل تبلغ 10^{-2} لكل غراي او اكثر ويمكن تقدير الخطورة التقريبية لعشرة اعضاء او اكثر تبلغ $(10^{-3} \times 1)$ غراي او اقل .

لقد تم الحصول على معلومات موثوقة من التتبع الطويل الامد لمجاميع من الناس الذين تسلموا جرعا محددة من الاشعاع نتيجة ثلاثة انواع رئيسة من التعرض .

- 1- من العمليات الاشعاعية وخاصة العلاج بالاشعة الذي يعطى في الاورام غير الخبيثة (Benign conditions) وبعض انواع التشخيص بالاشعة .
- 2- من الاسلحة الذرية وبالدرجة الاولى من هيروشيما وناكازاكي بالاضافة الى المتساقطات المحلية من تجارب الاسلحة النووية في جزر مارشال .
- 3- من التعرض المهني في مناجم اليورانيوم وفي صناعة الراديوم الوهاجة .

1.4.9 تقدير الخطورة لعموم الجسم

ان التشعيع المتجانس لعموم الجسم لجرع متوسطة 1 غراي او اقل يتوقع ان تكون جميع الخطورة السرطانية لعموم الجسم مساوية الى مجموع الخطورة المقدرة لجميع اعضاء الجسم. وبالتأكيد فانه في هذه المستويات من الجرع وتكرار حدوث مرض السرطان فان الخطورة في تحفيز مرض السرطان المميت في عضو واحد سوف لا ينخفض بصورة كبيرة بسبب اي سرطان مميت يحدث في الاعضاء الاخرى وان اي خلل في الهرمونات والمناعة الذي يؤدي الى الموت سوف يكون مستحيلا في هذه المستويات من الجرع وعلى هذا الاساس فان المجموع الكلي لامراض السرطان المميتة على ما يبدو يقع في مجال $10^{-2} \times 1$ الى $10^{-2} \times 2$ لكل غراي لتشعيع عموم الجسم. ان هذا التقدير متناغم مع ما وجد في الدراسات التي اجريت على الناجين من هيروشيما وناكازاكي. ان الزيادة في خطورة مرض سرطان الدم قد بلغت نحو $10^{-2} \times 0.25$ غراي وان تلك الزيادة لجميع امراض السرطان الاخرى تصل الى $10^{-2} \times 1$ غراي اذا ما استمر في المعدل الملاحظ حاليا وهو $10^{-6} \times 0.22$ غراي في السنة لمعدل 40 سنة في السكان الذين تعرضوا عندما كانت اعمارهم 30 سنة.

ان هذه القيمة تتناغم كذلك مع الخطورة لمرض سرطان الدم المقدرة $10^{-2} \times 0.15$ غراي الى $10^{-2} \times 0.25$ غراي المشتقة من المسوحات المرضية ومع النسبة الملاحظة لكل 6,4 حالات وفاة من جميع الامراض السرطانية فيما يخص سرطان الدم وحده.

ان الخطورة الكلية لتحفيز مرض السرطان غير المميت لا يمكن تقديرها بثقة لعدم وجود تقديرات لتكرار حدوث مرض السرطان الجلدي غير المميت نتيجة تعرض عموم الجسم. اما جميع انسجة الجسم الاخرى فان مجموع الخطورة لامراض السرطان التي يمكن ازالتها او علاجها يحتمل ان تكون $10^{-2} \times 1.5$ لكل غراي والجزء الاكبر منها يأتي من الغدة الدرقية.

ان امراض السرطان على ما يبدو هي التأثير الجسمي الوحيد لجرع الاشعاع الواطئة والمتوسطة التي تساهم بصورة ملموسة في الموت والخلل في الصحة او تقصير فترة الحياة.

2.4.4 تقدير الخطورة لأعضاء الجسم

نتيجة المعلومات المرضية فانه من الممكن تقدير الخطورة لتحفيز السرطان لجرع متوسطة لبضعة غراي معطاة لاي واحد من اعضاء الجسم او الى عموم الجسم بصورة متجانسة.

ان المصادر المفردة لهذه التقديرات ربما تكون معرضة الى عدم التأكد النابع عن الصعوبة في الاختبار الكلي وتقدير الجرع او عدم كفاية معلومات المقارنة. اما المجاميع فانها تشير الى الحساسية النسبية لاعضاء الجسم المختلفة لتحفيز مرض السرطان مما يتيح تقدير العدد تقريبا لهذه الحساسية. في بعض الاحيان فانه قد تم الحصول على معلومات كمية حول الاختلاف في معدل تحفيز مرض السرطان مع العمر اما في وقت التعرض او في العمر الذي يظهر مرض السرطان.

ان الخطورة لتحفيز مرض السرطان بعد تشعيع الغدة الدرقية ولثدي المرأة تكون عالية حوالي $10^{-2} \times 1$ غراي ولكن الموت نتيجة لمرض السرطان المحفز للغدة الدرقية تكون قليلا بحيث تكون الخطورة لتحفيز امراض السرطان المميتة لهذه الغدة يتوقع ان يكون نحو $10^{-3} \times 0.5$ غراي بوضفها متوسطا للذكور والاناث (ربما يكون المعدل في الاناث ضعف الذكور). ان الخطورة لمرض سرطان الثدي المميت في الاناث يؤخذ على انه $10^{-3} \times 5$ غراي وانه يكون في الذكور واطنا جدا على الرغم من انه قد نشر بعض حالات تحفيز سرطان الثدي في الذكور نتيجة الاشعاع.

اما الرئة ونخاع العظام (في تحفيز مرض سرطان الدم) فان معدلات التحفيز تكون اوطأ بصورة واضحة حيث تبلغ نحو $10^{-3} \times 2$ غراي لكلا حالات الحدوث والموت.

ان تشيع المعدة والكبد والامعاء الغليظة والغدد اللعابية وربما الدماغ قد يؤدي الى معدل تحفيز يتراوح بين $10^{-3} \times 1$ لكل غراي الى $10^{-3} \times 1.5$ لكل غراي. ان بعض هذه المواقع وخاصة الغدد اللعابية تكون فيها الخطورة لمرض السرطان المميت اقل كثيرا. اما لعدد من الانسجة الاخرى فانه يمكن تقدير معدل الخطورة من المعلومات المرضية التي تدل على انها قليلة وربما تكون مساوية الى او اقل من $10^{-3} \times 0.5$ لكل غراي. ان هذه الانسجة تشمل المريء والبنكرياس والحالب والانسجة اللمفاوية والامعاء الدقيقة وكذلك الاغشية المخاطية للتجاويف القحفية (Cranial sinuses) الذي ربما ينشأ فيها مرض السرطان بعد تناول الراديوم - 226. اما الجلد فانه لا يوجد تقدير جيد متوفر حاليا بالرغم من تاريخ تحفيز امراض سرطان الجلد الطويل بالاشعاع. ومع هذا فان لمعظم امراض سرطان الجلد (ماعدا الورم القتامي Melanoma) التي لم تثبت انها تحفز بالاشعة المؤينة. فان الموت يكون واطئا جدا وربما اقل من 0.5% وربما تكون الخطورة لمرض سرطان الجلد المميت طفيفة.

3.4.9 التأثيرات الوراثية

ان تقديرات الخطورة الوراثية تستند في الوقت الحاضر الى الفئران مع اي تصحيحات ملائمة لاختلاف المادة الوراثية بين الانسان والفئران. ان الجرعة المضاعفة لاثني عشر نوعا مختلفا من الحالات الوراثية غير الطبيعية في ذكور واناث الفئران قد تراوحت بين 0.4 الى 2.6 ويمعدل 1.4 غراي (± 0.2 S.E) للتعرض الطويل لاشعة كاما والاشعة السينية اما اشعاع LET العالي مثل الفا والنيوترونات السريعة فان معدل ستة تقديرات للجرعة المضاعفة كان 0.15 غراي (± 0.07 S.E)

ان تقدير الخطورة الاشعاعية الوراثية قد استند الى الفرضية بان الجرعة المضاعفة المقارنة تؤخذ على انها 1 غراي من اشعاع LET الواطىء المعدل جرع واطئة وهو من خواص التلف الوراثي لللبائن وبذلك ربما يمكن تطبيقه على الانسان ايضا.

وعلى فرض ان الجرعة المضاعفة للانسان هي 1 غراي وبمعرفة التكرار الاعتيادي لجميع الحالات الوراثية غير الطبيعية التي يحافظ عليها بواسطة الطفرات فانه قد تم اشتقاق تقدير الخطورة للاذى الوراثي الرئيس الذي يظهر خلال الجيل الاول بنحو $10^{-2} \times 0.9$ لكل غراي و $10^{-2} \times 0.35$ غراي للجيل الثاني ومجموع $10^{-2} \times 3.2$ لكل غراي لكل الاجيال اما فيما يخص الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP فان القيمة تكون $10^{-2} \times 1$ لكل غراي لاول جيلين و $10^{-2} \times 2$ لكل غراي لكافة الاجيال. ان هذه القيم بالطبع تعبر عن الخطورة لتعرض الابوين قبل حمل الطفل.

ان التقديرات المتوفرة تسمح ببعض المقارنة بين التكرار النسبي للتأثيرات الجسمية والوراثية لمجتمع معرض معين. انه على ما يبدو يكون ممكن ان اي تأثير وراثي رئيسي يحفز بنحو تأثير واحد لكل 100 او 120 رجل غراي ربما يكون مشابها الى او اقل قليلا من ذلك الذي يحفز مرض سرطان ممت بمعدل واحد لكل 80 الى 100 رجل غراي لنفس التعرض السكاني.

5.9 الضرر الاشعاعي (Detriment)

وهو التأثير الاتلافي للتعرض الى الاشعاع الذي يكون باشكال متعددة تشمل التأثيرات الاحتمالية وغير الاحتمالية في الاشخاص المعرضين بالاضافة التأثيرات الاحتمالية في الاجيال المقبلة.

ان مفهوم الضرر الى الصحة يعبر عن التلف الكلي الى الانسان من التأثير الحيوي الذي يظهر بعد التعرض وفي الظروف المعروفة بصورة جيدة للتعرض وفي مستوى جرعة معين ولتأثير مرضي معين يعرف بانه ناتج احتمالية الحدوث للتأثير P_i ومعامل الشدة المرافق g

ان معامل الشدة g لا يمكن ان يقدر بسهولة وان قيمته ليس فقط مترتبات التأثيرات الاتلافية (الموت، الخمول والمعاناة) ولكن كذلك متوسط الفترة الكامنة وفي بعض الاحيان تكون طويلة جدا. ان الاحتمالية العلاجية والشفاء بعد التأثير قد يكون ممكنا. ان الضرر G_j للفرد j يمكن ان يعبر عنه بصورة كمية بواسطة المعادلة

$$G_j = \sum_i P_i g_{ij} \quad \dots (9.3)$$

وللمجموعة P من الاشخاص (الضرر المتجمع) بواسطة

$$G = \sum_j G_j = \sum_j \sum_i P_{ij} g_{ij} \approx P \sum_i P_i g_i \quad \dots (9.4)$$

اذا كانت المجموعة متجانسة. ان مفهوم الضرر الى الصحة يمكن ان يعني التأثيرات الاحتمالية والتأثيرات غير الاحتمالية وفي هذه الحالة فان الاحتمالية تكون دالة متزايدة للجرعة وان معامل الشدة لا يعتمد على الجرعة وعلى افتراض انها علاقة مستقيمة بدون حد حرج في الجرعة الواطئة بين احتمالية التأثيرات الحيوية الاحتمالية للإشعاع ومكافئ الجرعة والضرر المتجمع الى الصحة يتناسب بصورة مباشرة مع مكافئ الجرعة المؤثرة ومع هذا فان الضرر على مستوى مجموعة من الافراد او المجتمع هو واقع معقد لا يمكن تخفيضه الى جمع فقط للتلف المفرد. ومثاليا فاننا نستطيع ان نأخذ بنظر الاعتبار توزيع مكافئ الجرعة الفردية. ان مكافئ الجرعة المتجمعة يكون معاملا ضمن معاملات اخرى.

الملحق 1

الكميات والوحدات المستخدمة في قياس الإشعاع

الملحق 1

الكميات والوحدات المستعملة في قياس الاشعاع

1.1 المعايير (Standards)

يرمز مصطلح المعيار الى امور متعددة مثل قابلية القياس (Measure-ment capacity) او علم القياس القضائي (Specification) والتعيير (Calibration) والفحص (Testing) والسيطرة النوعية (Quality control) اما في مجال الوقاية من الاشعاع فان كلمة معيار لها معنيان متميزان وهما

1.1.1 معيار المواصفات (Specification standard)

وهو مواصفات معتمدة بصورة واسعة او وصايا تقنية والوثائق المشابهة.

2.1.1 معيار القياسات (Measurement standard)

وهو مقياس مادة (Material measure) او جهاز او نظام قياس (Measuring instrument or system) الغرض منه تعريف او التمثيل فيزيائياً او الحفاظ او توليد وحدة قيمة معلومة او اكثر لكمية لغرض نقلها الى اجهزة قياس اخرى بواسطة المقارنة.

والجهة العالمية المسؤولة عن المعايير للاشعة المؤينة هي اللجنة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع

International Commission on Radiation Units and Measurements

ومختصرها ICRU حيث قامت هذه اللجنة بتعريف 38 كمية لها علاقة بقياس الاشعاع المؤين والنشاط الاشعاعي في سنة 1980 (ICRU 33) ان هذه الكميات تشمل عددا من معدل الكميات (Rate quantities) مثل معدل التعرض (Exposure rate) كما ان تلك الكميات قسمت الى اربع مجاميع حيث تشمل المجموعة الاولى مقاييس الاشعاع (Radio.metry) التي تتعلق بالمجال (Field) نفسه ويدفق الطاقة (Energy fluence) والمجموعة الثانية هي معاملات (Interaction coefficients) التي تشمل الكميات المرتبطة بتفاعل الاشعاع مع المادة والمجموعة الثالثة هي مقاييس الجرعة (Dosimetry) التي تتعامل مع كميات ناتجة بدورها من (الكميات في المجموعتين الاولى والثانية. مثل التعرض Exposure)) رغم انها لا تعرف بهذه الطريقة والسبب الاساس هو انها تقاس عادة بصورة مباشرة والمجموعة الرابعة هي النشاط الاشعاعي.

اما في الوقاية من الاشعاع فان هنالك كميات لمقاييس جرعة مستعملة بصورة واسعة وقد صممت مقياسا فيزيائياً للربط مع التأثير الواقعي او المحتمل للتشعيع وبالإضافة الى ذلك فانها الكميات التي يجري قياسها لاغراض التعبير والتي لها معايير ابتدائية (Primary standards) تم تكوينها للوصول الى الوحدات. ان الاتفاق قد تم على استعمال اسماء خاصة لها ما عدا استثناء واحداً. وهذه الكميات هي التعرض (Exposure) والجرعة الممتصة (Absorbed dose) وكرما (Kerma) والفعالية (Activity) ومكافئ الجرعة (Dose equivalent) بالرغم من انه لا يمكن قياس الاخير بصورة مباشرة كما ان هذه الكميات ووحداتها ورموزها موضحة في الجدول 1.1

3.1.1 معايير الوقاية من الاشعاع

من الممكن تمييز عدة معايير في مجال الوقاية من الاشعاع وقياس الاشعاع والتعرض وهذه المعايير هي

المعيار الابتدائي (Primary standard)

وهو المعيار الذي له أعلى المواصفات لقياس الكميات المقاسة (Metro-logical quantities) في مجال محدد وينطبق مفهوم المعيار الابتدائي على الوحدات الأساسية وعلى الوحدات المشتقة. ومثل هذا المعيار يكون مطلق (Absolute) فيما إذا كانت القيم المعطاة قد جرى تثبيتها على هيئة وحدات أساسية ذات العلاقة دون الاستعانة بمعيار آخر لكمية مشابهة.

المعيار الثانوي (Secondary standard)

وهو المعيار الذي جرى تثبيت قيمته بالمقارنة مع معيار ابتدائي .

الجدول 1.1 كميات ووحدات الاشعاع المستعملة بصورة روتينية

الكمية والرمز	الوحدة SI	الاسم الخاص والرمز	الاسم القديم الخارجي والرمز	العلاقة
التعرض exposure (x)	CKg^{-1}	_____	الرولكن rontgen (R)	$1R = 2.58 \times 10^{-4} Ckg^{-1}$
الجرعة الممتصة absorbed dose kerma ^{PK}	JKg^{-1}	غراي gray (Gy)	راد rad(rad)	$1 rad = 0.01 Gy$
الجرعة المكافئة dose equivalent (H)	JKg^{-1}	sievert (Sv)	ريم rem(rem)	$1 rem = 0.01 Sv$
الفعالية activity (A)	S^{-1}	becquerel (Bq)	curic (Ci)	$1 Ci = 37 \times 10^{10} Bq$

المعيار الوطني (National standard)

وهو المعيار المعترف به نتيجة قرار رسمي اساسا لتثبيت قيم جميع المعايير الاخرى للكمية. ان المعيار الوطني في بلدنا غالبا ما يكون معيارا ابتدائيا وفي حالة قياس التعرض فان كلفة تركيب واحد او اكثر من حجر التآين الخالية من الهواء (Free - air Ionization Chamber) تكون كبيرة وربما لا يكون هذا المعيار ضروريا وهنالك دول قليلة لا تتجاوز العشرين في سنة 1985 لها مختبرات معايير ابتدائية اما بقية دول العالم فانها تعتمد على مختبرات التعبير الثانوية (Secondary standard dosimetry Laboratories) ويختصرها SSDL

المعيار المصدري (Reference standard)

وهو معيار غالبا ما يكون له اعلى نوعية مقياسا متوفرا في موقع ما والتي يتم اشتقاق القياسات التي تجري في ذلك الموقع منها.

المعيار الناقل (Transfer standard)

وهو المعيار الذي يستعمل بوصفه متوسطا لمقارنة المعايير او المواد المقيسة او اجهزة القياس.

ان واجبات مختبرات التعبير الوطنية او الابتدائية يشمل ثلاث فعاليات

1 - توفير نظام وطني ثابت للقياسات في مجال معين.

2 - لتنسيق النظام مع انظمة البلدان الاخرى.

3 - لتوفير خدمات تعبير اساسية.

وهي مجموعة من العمليات التي تثبت تحت ظروف محددة، العلاقة بين القيم المعطاة من قبل جهاز او نظام قياس او القيم الممثلة بواسطة مقياس المادة وبين القيمة المعلومة المطابقة لقيم القياسات. من المهم معرفة الدقة المطلوبة في القياس.

هنالك عدة محددات لدقة قياس الاشعاع ومنها ان الاشعة المؤينة تشمل مجالا واسعا من الجسيمات ومن الاشعة الكهرومغناطيسية مثل اشعة الفا وبيتا وكاما بالإضافة الى شعاع الالكترونات والاشعة السينية والنيوترونات بالإضافة الى ان هذه الاشعاعات لها حقل واسع من الطاقات ولو اخذنا الاشعة السينية مثالا لها فان الطاقة تشمل 5Kev الى 50MeV الذي هو اربع مراتب فرق كما ان الشدة او معدل الجرعة الممتصة المهمة في مجال الوقاية من الاشعاع لقياس الجرعة تختلف بمجال واسع جدا يعادل اثنتي عشرة مرتبة عشرية بين الوقاية والتصنيع ويمثل المستوى العلاجي حداً متوسطاً.

وتتطلب مثل هذه المجالات المستفيضة تقنيات مختلفة للقياس مثل التأين والمقياس الحراري (السعري) والمقياس الكيمياوي ومقياس الحالة الصلبة والمقاييس الأخرى.

وفي الحقيقة فانه لا يوجد جواب واحد لسؤال الدقة المطلوبة في القياس كما ان تعقد تفاعل الاشعاع مع المادة يؤدي بصورة عامة الى مراتب كثيرة اقل من تلك المتوفرة للوحدات الاساسية او المشتقة.

نشأت الحاجة الى تقدير التعرض الى الاشعاع بصورة كمية في بادئ الامر عند استعمال الاشعاع لغرض العلاج وفي ذلك الوقت بحث عن مقياس يمكن ان يعزى له تأثير طبي لغرض امكانية نقل الخبرة ولغرض التمكن من العلاج بصورة منتظمة كما ان الطريقة العملية الوحيدة في ذلك الوقت لقياس الاشعاع كانت درجة اللمعان التي تحدث على الشاشة الوهاجة. ومقاييس الاشعاع الأولية التي استخدمت كانت غير عملية وذلك لانها اما ان تكون غير

حساسة او انه يصعب تكرارها او كليهما معا. ان الطريقة التي كانت شائعة لوصف التعرض كانت ايجاد الوقت اللازم للحصول على صور ليد الانسان وقد عملت ايدٍ صناعية لهذا الغرض.

لقد كان من الممكن استعمال الفيض الفوتوني (Photon flux) طريقة لتقدير التعرض بعد ان اقترحت الطبيعة الحزمية للاشعة الكهرومغناطيسية من قبل العالم Einstein في سنة 1905 واثبات العالم كويتن لذلك في سنة 1923 الا ان عدم وجود طريقة لقياس هذه الكمية كان قد منع اعتمادها. ان دراسة التأين الناتج في الهواء بواسطة الاشعة السينية قد ادى الى اقتراح استعمال التأين في الهواء طريقة لتقدير ناتج انبوب الاشعة السينية كما ان هذا المقترح قد وجد تطبيقا عمليا في حجرة التأين المصممة في سنة 1913 لقد ادرك بعض العلماء بان تلف الانسجة الحية هو دالة الطاقة الممتصة من قبل النسيج وليس ناتجا عن انبوب الاشعة السينية الذي تعرضوا له.

3.1 وحدات التعرض الى الاشعاع (Exposure units)

ان اول وحدة للاشعاع قد اقترحت من قبل العالم Behnkin في سنة 1924 وفي سنة 1928 تم اعتماد هذه الوحدة من قبل المؤتمر العالمي الثاني لعلم الاشعاع (Second International Congress of Radiology) وهذه الوحدة هي الرونتكن (roentgen) التي عرفت بانها كمية من الاشعة السينية التي عند استعمال الالكترود الثانوي بصورة تامة مع تجنب تأثير جدار حجرة التأين تولد في سنتيمتر مكعب واحد من الهواء الجوي وبدرجة حرارة صفر مئوي و 760 ملمتر من الضغط الزئبقي درجة من التوصيل بحيث ان 1 e.s.u من الشحنة يتم قياسها تحت تيار مشبع.

والوصية في ذلك الحين قد اقتصر على الاشعة السينية فقط وبالرغم من ان الهيئة العالمية للوحدات والقياسات

(International Commission on Radiation Units and Measurements)

ومختصرها ICRU قد اوصت في سنة 1937 شمول اشعة كاما بهذا التعريف فان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع

(International Commission on Radiation Protection)

ورمزها ICRP لم تقم بالتوصية بذلك.

كما ان تفسير تعريف الرونكن يعتمد على معنى كمية الاشعة السينية في ذلك الوقت حيث اعتبر الذين يرغبون قياس الاشعاع انها تعني الاشعاع المار خلال حجرة التأين. اما اولئك الذين يهتمون بالطاقة الممتصة فانهم يعتبروه الاشعاع الممتص في حجرة التأين. لقد وجهت انتقادات متعددة للتعريف بالاضافة الى نشوء الحاجة الى اخذ انواع الاشعاع المؤين الاخرى بنظر الاعتبار مثل النيوترونات وجسيمات الفا وجسيمات بيتا.

لقد اقترحت وحدات متعددة اخرى مثل الريب (rep) التي هي مختصر مكافئ رونكن الفيزياوي (Roentgen equivalent physical) في سنة

1948

ونتيجة التوسيع في استعمال الاشعاع ونشوء مصادر صناعية كثيرة له مثل المفاعلات النووية ومعجلات الجسيمات، فقد وجدت الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع في سنة 1950 انه لا بد من اخذ النيوترونات والبروتونات وكذلك الجسيمات الثقيلة المشحونة بنظر الاعتبار. ان هذه الانواع من الاشعاعات لم يكن ممكنا التعبير عنها بالرونكن الذي يستعمل عادة للغوتونات ولكن مع هذا فقد كان ممكنا حساب الطاقة الممتصة لوحدة كتلة النسيج الطري عند تعريضها الى رونكن واحد من الاشعة السينية او اشعة كاما وان هذه الطاقة لوحدة الكتلة كانت قريبة لما يعرف الان بالراد (rad) الذي يستعمل للنيوترونات والبروتونات والجسيمات الثقيلة المشحونة. لقد عرف في حينه ان هذه الجسيمات تترك طاقة ذات كثافة اكثر كثيرا على مساراتها من تلك المتروكة من قبل الالكترونات ونتيجة لذلك فانها تولد تأثيراً بايولوجيا يختلف لطاقة ما معطاة لوحدة الكتلة.

ان الغموض المتعلق بالكمية المقاسة قد جرى حله في اجتماع الهيئة الدولية للاوزان والمقاييس في عام 1956 وقد ظهرت نتيجة ذلك تعريف كمية هي جرعة التعرض (Exposure dose) ان جرعة التعرض لاشعة كاما والاشعة السينية في محل معين هي مقياس الاشعاع الذي تستند الى قابليته لتوليد تأين وقد تبع ذلك بأن الرونكن الواحد هو جرعة تعرض للاشعة السينية واشعاع كاما.

لقد تم في سنة 1962 من قبل الهيئة العالمية لوحدات الاشعاع والقياسات اسقاط كلمة جرعة من جرعة التعرض لغرض ازالة التوهم بكمية الجرعة الممتصة التي كانت سائدة في ذلك الوقت بالاضافة الى استعمال الرمز الكبير للحرف وهو R بدل r

لقد جرى تحويل تعريف التعرض من قبل الهيئة العالمية لوحدات الاشعاع والقياسات في سنة 1968 بحيث اصبح التعريف الجديد يمثل الكسر $\frac{\Delta\phi}{\Delta m}$ حيث تكون $\Delta\phi$ هي مجموع الشحنات الكهربائية على جميع الايونات لاشارة واحدة الناتجة في الهواء عندما تكون جميع الالكترونات (Negatron, positrons) المحررة بواسطة الفوتونات في حجم عنصر الهواء الذي تكون كتلته M يتم ايقافها كلياً في الهواء

$$X = \frac{\Delta\phi}{\Delta m} \quad \text{--- (1.1)}$$

واكثر من ذلك ان الرونكن (R) $R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ والرقم 2.58 الذي يبدو اعتباطياً قد تولد من التغييرات خلال السنوات من

1- من الحجم الى كتلة الهواء

2- من الشحنة بـ esu الى وحدة الشحنة بنظام SI وفي سنة 1971 غيرت Δn و $\Delta\phi$ الى تفاضل حقيقي $d\phi$ و dm بحيث انه يمكن القول بان التعرض يحدث في نقطة وان يكون له تدرج فراغي (Spatial gradient) كما ان اخر تعريف للتعرض تم في سنة 1980 من قبل الهيئة

العالمية لوحداث الاشعاع والقياسات ينص على ان التعرض x هو الكسر $\frac{dQ}{dm}$ حيث تكون قيمة dQ قيمة مطلقة لمجموع شحنة الايونات لاشارة واحدة الناتجة في الهواء عندما تكون جميع الالكترونات (Negatron) $P_{positrons}$ المتحررة بواسطة الفوتون في الهواء الذي كتلته dm يتم ايقافها كليا في الهواء

$$X = \frac{dQ}{dm} \dots\dots (1.2)$$

كما ان الوحدة الان هي Ckg^{-1} بموجداث الـ SI وتستعمل الوحدة الخاصة للتعرض الرونكن (R) بصورة مؤقتة الان وان العلاقة بينها

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} Ckg^{-1} \dots\dots\dots (1.3)$$

تتطلب كل هذه التعاريف ان المادة الوحيدة التي تدخل سلسلة من التفاعلات هي الهواء تقوم الفوتونات اولا بالتفاعل مع كتلة محددة من الهواء ونتيجة لهذا التفاعل فانها تولد الكترونات بواسطة التأثير الكهروضوئي او تأثير كوهتن والالكترونات والبوزترونات بواسطة فعالية انتاج الزوج . ان جميع هذه الجسيمات الثانوية المشحونة تسير خلال الهواء لغاية تسرب طاقتها وان الايونات ذات الاشارة الواحدة الناتجة يجب ان تقاس . كما ان الالكترونات الثانوية سوف لا تفقد جميع طاقتها بواسطة فعاليات الارتطام ولكن سوف تفقد كمية قليلة بواسطة الفقدان الاشعاعي (انتاج اشعاع الايقاف) وينتج اي تأين بفعل اعادة الامتصاص لاشعاع الايقاف الذي يجب ان لا يكون مشمولا بالتأين الوارد في التعاريف . وهذا يعني ان معاملات تفاعل الفوتون المتعلقة بتعريف التعرض يجب ان تبعد اي مكونات لاشعاع الايقاف ولهذا فهي معامل امتصاص الطاقة الكتلي μ_{en}/P وتكون طاقة الجسيمات المشحونة المتحررة لوحدة كتلة الهواء التي يتم امتصاصها بعد ذلك في الهواء $(\mu_{en}/P)_{air}$ حيث تكون ψ دفق الطاقة . واذا كانت الطاقة اللازمة لانتاج زوج ايوني في الهواء تساوي W_{air} فان عدد ازواج

الايونات لوحدة الكتلة يكون $\frac{\Psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air}}{W_{air}}$ والشحنة Q الناتجة

لوحدة الكتلة سوف تكون $\frac{\Psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{aire}}{W_{air}}$ حيث تكون e الشحنة
الالكترونية ولكن التعرض x يساوي dQ/dm ولهذا فان الشحنة لوحدة
الكتلة حسب التعبير اعلاه تساوي

$$x = \Psi \left(\frac{\mu_{en}}{e} \right)_{air} \frac{e}{W_{air}} \dots\dots (1.4)$$

1.3.1 الجرعة الممتصة (Absorbed dose)

اقترح استعمال المصطلح الجرعة (Dose) في سنة 1913 من قبل العالم Christen الذي عرفها بانها الطاقة الاشعاعية الممتصة في وحدة الحجم لقد ادرك ان القياسات يجب اجراؤها لعدد الايونات الناتجة في حجم معين من الهواء الجاف تحت الظروف القياسية من حرارة وضغط بالرغم من انه كان من الافضل حساب الطاقة اللازمة لتحرير هذا العدد من الايونات بحيث ان وحدة الجرعة يتم التعبير عنها بالارغ لكل ستمتر مكعب. وبعد اكتشاف النيوترونات وجدت صعوبة لقياسها حيث ان هذه الجسيمات لا يمكن قياسها على هيئة الكمية تعرض التي استعملت في ذلك الحين لقياس الاشعة السينية واشعة كاما.

في سنة 1939 قام العالمان Gray و Read باقتراح المصطلح وحدة الطاقة (Energy unit) لهذا الغرض. وهذه الوحدة قد عبر عنها بالطاقة لوحدة الحجم وانه قد جرى حسابها نسبة الى الطاقة الممتصة لوحدة الحجم للماء المعرض الى رونكن واحد من اشعة كاما. لقد قاموا بقياس ذلك على شكل تايين الغازات لانه كانت هنالك صعوبات عملية للقياسات المباشرة للاشعة المؤينة بواسطة التأثير الحراري الذي يولدها.

لقد تصدت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1951 لهذه المشكلة واوصت بانه لغرض عطف الجرعة لاي اشعاع مؤين الى تأثيرها البيولوجي او المتعلق به فانه يجب التعبير عن الجرعة على شكل كمية الطاقة الممتصة لوحدة الكتلة (ارغ لكل غرام) للمادة المشعة في النقطة المطلوبة. لقد اعطي الاسم الجرعة الممتصة (Absorbed dose) في سنة 1954 من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع حيث نصت على ان الراد، (rad) هو وحدة الجرعة الممتصة وهي تساوي 100 ارغ لكل غرام وفي سنة 1957 نصت هذه الهيئة بان الجرعة الممتصة لاي اشعاع مؤين هي الطاقة الداخلة الى المادة بواسطة الجسيمة المؤينة لوحدة كتلة المادة المشعة في نقطة معلومة. ولقد نص تقرير للهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع.

بان الجرعة الممتصة ورمزها D هي الكسر $\frac{\Delta E_p}{\Delta m}$ حيث تكون ΔE_D هي الطاقة الداخلة بواسطة الاشعة المؤينة الى المادة في حجم من العنصر و ΔM هي كتلة المادة في ذلك الحجم من العنصر. ان الـ s قد ادخلت لتوضيح ان Δm كانت صغيرة بما فيه الكفاية لتعريف نقطة القياس ولكن كبيرة بما فيه الكفاية لـ ΔE_D لكي تكون مكونة من وحدات ادخال طاقة بحيث انه يحصل على قيمة متوسطة جيدة ولهذا فان الجرعة الممتصة كانت كمية كبيرة يحتاج ايجاد متوسطها في الحجم. وفي سنة 1971 قامت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع بتغيير الجرعة الممتصة الى كمية تعرف في نقطة بانها الكسر التفاضلي dE/dm حيث dE هي متوسط الطاقة الداخلة وفي سنة 1980 قامت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع بتعريف الجرعة الممتصة D بانها

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} \quad \text{ـيـ}^-/\text{يز}$$

حيث تكون $d\bar{E}$ متوسط الطاقة الداخلة بواسطة الاشعاع المؤين الى مادة كتلتها dm

كما ان الطاقة الداخلة E بواسطة الاشعاع الى المادة في حجم هي

$$E = \sum R_{in} - \sum R_{out} + \sum \phi \dots \dots \dots (1.5)$$

حيث انه E_{Rin} هي طاقة الاشعاع الساقطة على الحجم وهي تساوي مجموع كل الجسيمات المؤينة المشحونة وغير المشحونة (ما عدا طاقات الراحة) التي تدخل الحجم و ΣR_{out} هي طاقة الاشعاع الخارجة من الحجم اي انها تساوي مجموع كل الجسيمات المشحونة وغير المشحونة التي تغادر الحجم ΣQ هي مجموع كل التغيرات (الانخفاض - الاشارة السالبة والزيادة - الاشارة الموجبة) لطاقة الكتلة المستقرة للنوى والجسيمات الاولية التي تحدث في الحجم. وفي معظم الحالات فان E تعطى بالفرق بين مجاميع الطاقات لهذه الجسيمات الداخلة وتلك المغادرة لهذا الحجم. ولكن اذا كان الحجم يحتوي على مصدر مشع فانه يقوم ببعث جسيمة من الحجم. ان طاقة هذه الجسيمة سوف تزيد R_{out} وتؤدي الى الخط من قيمة E المقدرة لولا وجود ΣQ ونفس الاعتبارات تنطبق فيما اذا دخلت الجسيمات الاتية نواة وتغير كتلة الاستقرار.

وحدات الجرعة الممتصة

ان الوحدة الخاصة بالجرعة الممتصة هي الراد (rad) وهي تحت الاستعمال (الان بصورة مؤقتة) منذ اكثر من ربع قرن من الزمن ولقد عبر عنها في الماضي بالارغ انها تساوي (100 erg) لكل غرام. ولكن مع شيوع استعمال وحدات الـ SI فانها بمصطلح هذه الوحدات تكون $1 \times 10^{-2} \text{ J/Kg}$ ان الراد قد استعمل في بادىء الامر مع كمية الجرعة الممتصة فقط ولكن في سنة 1971 قامت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع بتمديد استعمالها الى كميات الاشعاع الاخرى التي لها نفس الابعاد مثل الطاقة الخاصة (الداخلية) و Z والكروما و K ودليل الجرعة الممتصة D.

وبتوسع استعمال وحدات الـ SI. اقترح استعمال اسم خاص لهذه الوحدة وقد اقر مثل هذا الاسم في سنة 1975 حيث اوصى باستعمال الغراي (Gray) ورمزها Gy لوحدة J/Kg عند استعمالها مع الاشعاع المؤين. ان الغراي تستعمل الان للجرج الممتصة والطاقة الخاصة وكرما ودليل الجرج الممتصة والتوصية ان يتم استعمال الوحدة القديمة راد والوحدة الجديدة غراي سوية لغاية سنة 1985 ولم يتوقف استعمال الراد كوحدة لقياس الاشعة الممتصة لغاية سنة 1988 في معظم بلدان العالم. ان معظم النتائج التي اعطيت بعد حادثة المحطة الكهرونووية في تشرنوبيل / الاتحاد السوفيتي خلال عام 1986 كانت بالوحدات القديمة.

وبما ان الوحدة غراي تستعمل لاربع كميات فانه من الضروري ذكر اي كمية نعني عند ذكر عدد الغراي مالم يكن هذا واضحا من بقية الكلام واكثر من ذلك ان الجرعة الممتصة والكرما والطاقة الخاصة يمكن ان تطبق على اي مادة فان الجرعة الممتصة تكون غير كاملة ما لم يتم التطرق الى المادة المعنية.

2.3.1 مفهوم الكرما (Concept of Kerma)

في سنة 1962 عرفت الكمية كرما من قبل الهيئة العالمية لوحدات ومقاييس الاشعاع (ICRU) وهذا الاسم مشتق من مختصر الطاقة الحركية المتحررة لوحدة الكتلة

Kinetic energy released per unit mass

(Kerma) وقد اضيف حرف a بالدرجة الأساس لتمييزها عن الكلمة الالمانية Kern وهذه الكمية قد ادخلت للدلالة على الفعالية ذات المرحلتين التي تحدث عندما تدخل الجسيمات المؤينة بصورة غير مباشرة كالنيوترونات والفوتونات طاقة الى المادة. انها تساوي حسب اول تعريف لها الكسر $\Delta E_k / \Delta m$ حيث ان ΔE_k يمثل مجموع الطاقات الحركية الاولى لجميع الجسيمات

المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات المؤينة بصورة غير مباشرة في حجم من
العنصر من مادة خاصة و Δm يمثل كتلة المادة في حجم العنصر. في سنة 1971
قامت هيئة الـ ICRU بتحويل التعريف الى

$$K = dE_{tr} / dm \text{ -----(1.6)}$$

اما في الوقت الراهن ومنذ سنة 1980 فان الكerma تعرف بالكسر
 dE_{tr} / dm حيث تساوي dE_{tr} / dm مجموع الطاقات الحركية الاولى لجميع
الجسيمات المؤينة المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات. غير المشحونة في مادة
ذات كتلة Δm ان وحدة الكerma هي $J Kg^{-1}$ واسمها في نظام SI هو
الغراي (gray) اما الاسم القديم لها فهو الراد الذي يساوي $1 \times 10^{-2} J Kg^{-1}$

كرما ودفق الطاقة (Kerma and energy fluence)

ان الكerma K لها علاقة بدفق الطاقة Ψ بواسطة معامل انتقال الطاقة
الكتلي dE_{tr} / P

$$K = \Psi M_{tr} / P \text{ -----(1.7)}$$

وبما ان dE_{tr} هي مجموع الطاقات الحركية الابتدائية للجسيمات
المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات المؤينة غير المشحونة فانها تشمل طاقة
تلك الجسيمات المشحونة التي تشع بعد ذلك بصفة اشعاع ايقاف.

2.3.1 دفق الطاقة (Energy fluence)

عرف دفق الطاقة من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في
عام 1980 بالمعادلة

$$\Psi = dR / da \text{ -----(1.8)}$$

حيث تمثل dR طاقة الاشعاع التي تدخل الى كرة ذات مقطع عرضي da ان وحدة دفع الطاقة بنظام SI هي Jm^{-2} . ان R تمثل الطاقة ناقصا طاقة الاستقرار للجسيمة المعنية. ان تعريف المجال الاشعاعي يكون اكثر تماما فيما اذا اعطى توزيع دفع الطاقة في الاتجاه والطاقة. ان المعرفة الكافية بالتوزيع والاتجاه عادة تتبع معرفة موقع المصدر الاولي للاشعاع.

3.3.1 مقاييس الجرعة في الوقاية من الاشعاع

. ان اكتشاف الاشعة السينية في سنة 1895 من قبل العالم Roentgen قد ادى بعد فترة قصيرة من اكتشافها الى استعمالها للاغراض الطبية، في التشخيص والعلاج، وبالرغم من الفوائد الطبية الكبيرة التي حققها هذا الاكتشاف الا انه قد حدثت بعض الضحايا نتيجة الاستعمال الخاطيء للاشعاع. لقد تم تسجيل تأثيرات بايولوجية غير مرغوب بها في اليابان في سنة 1896 ولقد اتخذت بعد ذلك الوقت بعض الخطوات لتقليل خطر التعرض الى الاشعاع.

كما ان اول خطوة منتظمة في مجال الوقاية من الاشعاع قد اتخذت من قبل مجتمع رونكن البريطاني (British Roentgen Society) في سنة 1915 ولكن في ذلك الوقت كان التقدم بطيئا ولم تظهر الضوابط الخاصة بالكميات القصوى من الاشعاع التي يمكن التعرض لها مع ضمان سلامة المتعرضين بالاضافة الى عدم وجود وصف كمي مقبول علميا ووحدة يمكن ان يوصف بها الاشعاع.

جرت بعدئذ محاولات لوضع مقاييس للتعرض قفي العشرينات من هذا القرن استعملت ظاهرة احمرار الجلد عند التعرض للاشعاع مقياسا للجرع المقبولة حيث حددت الجرعة المسموح بها في السنة بـ $1/10$ جرعة الجلد الحرج للاحمرار (Threshold erythma dose) الذي يقابل 6رونكن (R) في الشهر بمفاهيمنا الحالية.

لقد انشئت في سنة 1928 الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع
(International Commission on Radiological Protection) ومختصرها ICRP خلال

المؤتمر الثاني العالمي لعلم الاشعاع
(Second International Congress of Radiology)

المنعقد في نفس السنة. لقد تم تعريف وحدة قياس الاشعاع الرونكن (R)
من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع

(International Commission on Radiological Units and Measurements)

في سنة 1928 كذلك. ومن اولى توصيات الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع
التي صدرت تحديد التعرض الى الاشعاع وكانت في سنة 1954 حيث
حددت الجرعة المسموح بالتعرض لها بـ 0.2 رونكن في اليوم.

ومنذ ذلك الوقت وخلال سنوات الحرب فان كثيرا من المعلومات
الخاصة بالتأثير البايولوجي للاشعاع قد تراكمت مما حدا بالهيئة العالمية للوقاية
من الاشعاع الى تولية اهتمامها الى النيوترونات والبروتونات وكذلك الجسيمات
المشحونة الثقيلة الاخرى التي سادت بفعل اختراع مصادر اشعاع اخرى
اعطت مثل هذه الانواع من الاشعاعات التي لم يكن ممكنا التعبير عنها
بالرونكن الذي يستعمل عادة للفوتونات. لقد جرى حساب الطاقة الممتصة
لوحدة كتلة النسيج الطري عند تعرضها الى رونكن واحد من الاشعة السينية
او اشعة كاما. ان هذه الطاقة لوحدة الكتلة كانت قريبة مما يعرف الان
بالراد (rad) الذي استعمل للنيوترونات والبروتونات والجسيمات الثقيلة
المشحونة في سنة 1950

لقد عرف في حينه ان هذه الجسيمات تترك طاقة ذات كثافة اكبر كثيرا
على طريق مساراتها من الالكترونات ونتيجة لذلك فانها تولد تأثيراً بايولوجيا
يختلف لطاقة ما معطاة لوحدة الكتلة.

وقد دعيّت هذه بالفعالية البايولوجية النسبية (Relative Biological

Effectiveness) ومختصرها RBE

ان قياً لهذه الفعالية البايولوجية النسبية للاشعة المؤينة بكثافة مضروبة بالطاقة لوحدة الكتلة تعطي كمية تدعى جرعة الفعالية البايولوجية النسبية (RBE dose) التي عبر عنها بوحدات الريم التي عنت في تلك الايام الرونكن مكافئ الرجل (Roentgen equivalent man) وقد تلا ذلك بفترة قصيرة تسمية وحدة جديدة في سنة 1953 من قبل الهيئة العالمية لوحداث وقياسات الجرع وهي الراد (rad) حيث اوصي باستعمالها كوحدة للطاقة الممتصة او الجرعة الممتصة. ان الرونكن قد عبر عنه في حينه بحرف r صغير وبدون كسرة قد اعتبر وحدة جرعة الاشعة السينية واشعة كاما. وخلال انعقاد مؤتمر مجلس علم الاشعاع العالمي في سنة 1956 فان المصطلح جرعة التعرض قد اقترحت المفهوم الاخير وقد جرى تقصيرها في سنة 1962 حسب توصية الهيئة العالمية لوحداث ومقاييس الاشعاع الى تعرض (Exposure) فقط.

ومنذ بدء سنة 1954 بالنسبة للوقاية من الاشعاع زادت الحاجة الى الاخذ بنظر الاعتبار الحقيقة انه لنفس الكمية من الطاقة الممتصة فان الانواع المختلفة من الاشعاع تنتج درجات متفاوتة من الاستجابة البايولوجية وهذا ما حدا الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع للتوصية باستعمال وحدة الريم (rem) التي تعرف بانها الجرعة الممتصة لاي اشعاع مؤين التي لها نفس الفعالية البايولوجية لراد واحد من الاشعة السينية والتي لها متونبط تأين خاص (Average specified ionization) يساوي 100 زوج ايوني لكل مايكرون من الماء على هيئة مكافئها الهوائي في نفس المنطقة. ان تلك الكمية معنية بالدرجة الاساس بالجرع العالية وسرعة اعطاء الجرع العالية وخاصة لاهياء اخرى غير الانسان.

لقد ادرك نتيجة البحوث التي جرت من قبل العالمين Zirkle و Lea للفترة 1940 لغاية 1954 بان هنالك علاقة بين الفعالية البايولوجية النسبية لانواع الاشعاع المختلفة وانتاج التأثير البايولوجي والطاقة المتفرغة لوحدة المساحة وهو ما يدعى انتقال الطاقة الخطي على طريق الجسيمات المؤينة اذ لم

يكن مع التاين الخاص غير المؤكد (Uncertain specific ionization) ، ان توصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد حوت قيميا مختلفة للتاين الخاص او المكافئ لقيم انتقال الطاقة الخطي . وقد اوضحت ان الجرعة المقيسة بالريم تكون مساوية للجرعة المقيسة بالراد مضروبة بالفعالية البايولوجية النسبية الملائمة .

يستعمل مصطلح الفعالية البايولوجية النسبية بصورة مغايرة في علم الاحياء الاشعاعي (Radiobiology) حيث استعمل للدلالة على ان النسبة بين الجرعة الممتصة اللازمة لانتاج درجات متساوية للتأثير البايولوجي الفعلي ولم تعتمد على انتقال الطاقة الخطي بنفس الطريقة التي جاءت بتوصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع عام 1954 وبالإضافة الى ذلك فانها لم تكن معتمدة على طبيعة الكائن الحي وعلى التأثيرات الحرارية وضغط الاوكسجين المدروسة في النموذج البايولوجي او ظروف تنميتها وادائها ولهذا فان وجهات النظر بقيت خلال تقرير الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1959 والى توصياتهم المنشورة في عام 1962 والتي عوضت عن ذلك بمصطلح معامل النوعية (Quality factor) ويرمز له Q من الفعالية البايولوجية النسبية في مجال الوقاية من الاشعاع . ان معامل النوعية قد وضع على انتقال الطاقة الخطي نفسه وهو عرضة لتفسيرات متعددة ولكن في هذا التطبيق فانها مشابهة الى قوة الايقاف (Stopping power) في الماء للجسيمات المائية الساقطة او المحررة في النسيج .

لقد ادخل مصطلح مكافئ الجرعة (Dose equivalent) للكمية المقيسة بالريم نتيجة اتفاق الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع والهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع التي هي ناتج الجرعة الممتصة ومعامل النوعية واية معاملات ضرورية اخرى .

لقد اوصت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1974 باستعمال وحدات SI ولقد كان المؤتمر العام للاوزان والمقاييس (General Conference on Weights and Measures) خلال اجتماعه الخامس

عشر في سنة 1975 قد وافق على اعتماد وحدات SI وهي الغراي (Gray) للجرعة الممتصة ويكريل (Becquerel) للفعالية. كما ان السيفريت (Sievert) ورمزه (SV) قد جرى اعتماده من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع في سنة 1977

4.3.1 الكميات والوحدات المستعملة في الوقاية من الاشعاع حالياً

تعتمد الكميات والوحدات المستعملة في الوقاية من الاشعاع في الوقت الراهن بالدرجة الاساس على توصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP)

ومن الممكن تقسيم كميات قياس الجرعة الى الكميات المعنية بالافراد والكميات المعنية بالسكان. ان الكميات المتعلقة بالافراد تعبر بصورة كمية عن تعرض الافراد الى الاشعاع والكميات المعنية بالسكان معنية بالتعبير من الجرعة الاشعاعية للسكان الناتجة من التعرض الى مصادر محددة للتعرض.

مكافئ الجرعة (Dose equivalent)

هناك حاجة لاستعمال كمية في الوقاية من الاشعاع لوصف العلاقة بين التعرض الى الاشعاع والتأثيرات البيولوجية ان هذه الكمية دعيت مكافئ الجرعة (Dose equivalent) ورمزها H وتستعمل هذه الكمية في حقل الوقاية من الاشعاع في الظروف الاعتيادية وهي معرفة بالمعادلة

$$H = QND \dots\dots\dots (1.9)$$

حيث ترمز Q الى معامل النوعية و N الى ناتج مجموع العوامل المحورة الاخرى التي تستعمل القيمة (1) لها في الوقت الحاضر. وبما ان كلا N و Q بدون وحدات لذلك انه بنظام SI تكون الجرعة الممتصة مشابهة لمكافئ الجرعة أي JKg^{-1} ولغرض تجنب الخلط بينهما فان مكافئ الجرعة قد اعطي الاسم سيفريت (Sievert) ورمزه (SV)

كما ان معامل النوعية يسمح الاخذ بنظر الاعتبار التأثيرات المختلفة لانواع مختلفة من الاشعاع وهو يمثل حكما نوعيا الى درجة كبيرة حول القيم المختلفة للفعالية البيولوجية النسبية لنوع معين من الاشعاع لمرتبات بايولوجية متعددة. لقد فرض انها تعتمد على الطاقة الداخلة لمتوسط طول المسار في النسيج الذي يهمننا وان تكون مستقلة عن نوع التأثير النهائي.

والقيمة Q بهذا قد عرفت بدقة بواسطة الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) بانها تعتمد على قوة الايقاف الارتطامي (Collision stop-ping power) ورمزها L_{50} في الماء في النقطة المثيرة للاهتمام. ان بعض قيم L_{50} معطاة في الجدول 2.1 ومن الممكن الحصول على القيم الاخرى بواسطة تمديد المقياس.

واذا ما سببت جسيمة جرعة ممتصة لها مدى بعض قيم L_{50} فان قيمة مؤثرة Q^- يمكن ان تحسب في النقطة المثيرة للاهتمام وعندما لا تعرف مساهمة L فان من المسموح به استعمال قيم تقريبية لـ Q^- ان الـ ICRP قد اوصت بقيم تقريبية لجميع انواع الاشعاعات المؤينة الشائعة التي تعطى في الجدول 3.1

الجدول 2.1 العلاقة المحددة بين L_{50} و Q^-

L_{50} في الماء ($\text{KeV } \mu\text{m}^{-1}$)	
1	3.5
2	7
5	23
10	53
20	≥ 175

المصدر ICRP 52 (1977)

الجدول 3.1 التقريب المسموح به لقيم Q لانواع مختلفة من الاشعاع

نوع الاشعاع	القيمة التقريبية لـ Q
الاشعة السينية واشعة كاما والالكترونات	1
النيوترونات الحرارية	2.3
النيوترونات والبروتونات والجسيمات المفردة المشحونة التي لها كتلة استقرار اكثر من 1 amu ذات الطاقة غير المعروفة	10
جسيمات الفا والجسيمات ذات الشحنات المتعددة (والجسيمات المجهولة الشحنة) غير المعروفة الطاقة	20

المصدر R. J. Pentreath (1980) 110

كما ان معاملات النوعية قد اختيرت لكي تمثل فعالية الانواع المختلفة من الاشعة المؤينة لكي تسبب التأثيرات الضارة في الجرعة الواطئة. ولهذا فان من الضروري تجنب استعمال مكافئ الجرعة لتقدير كل المستويات المحتملة للتعرض اثناء الحوادث للانسان التي ربما تشمل تأثيرات غير احتمالية شديدة. لهذا السبب فان الجرعة الممتصة تكون هي الكميات المناسبة بعد الوزن للفعالية البيولوجية النسبية (Relative biological effectiveness) ورمزها RBE لكل نوع من انواع الاشعاع للتأثيرات في مجال الجرعة العالية.

والعلاقة بين Q و RBE غالبا ما يساء فهمها. وتعرف RBE بانها النسبة للجرعة الممتصة لاشعاع مصدري الى الجرعة الممتصة لاشعاع الذي يكون تحت الاختبار لاحداث نفس المستوى من التأثير البيولوجي لنفس المقدار او الطبيعة مع ثبات الظروف الاخرى. ان الفعالية البيولوجية النسبية يمكن ان تستعمل للحصول على الاستجابة البيولوجية لتأثير معين الحاصل من جرعة ممتصة معينة في مجال الجرعة المحدد.

ربما ان Q قد عرفت دون الاستناد الى اي تأثير بايولوجي فهي لا
تمثل اي قيمة معينة (RBE)

مكافئ الجرعة المؤثرة (Effective dose equivalent)

ان احتمالية حدوث تأثيرا احتمالي في عضو او سيج يفترض انه يتناسب مع مكافئ الجرعة في النسيج او العضو لاغراض الوقاية من الاشعاع. ان ثابت التناسب يختلف بالنسبة لاعضاء وانسجة الجسم المختلفة ولكن بتقييم الضرر الصحي فان الخطورة الكلية يحتاج لها عادة واذا كان التشعيع منتظما خلال جميع الانسجة للجسم فانه يمكن استعمال معامل خطورة كلي مفرد وان التخمينات والمقارنة يمكن ان تجرى على اساس مكافئ الجرعة فقط في كل الجسم. اما اذا كان تشعيع الانسجة المختلفة غير منتظم وكما هي الحالة بالنسبة للتشعيع من معظم النويدات المشعة المترسبة داخليا في الجسم فعندئذ تدعو الضرورة لاستعمال كمية اخرى للدلالة على الخطورة الكلية. كما ان الكميات الموصى بها تعكس خطورة احتمالات الوفاة المرتبطة بالتشعيع للاعضاء المختلفة بالاضافة الى النسب للتأثيرات الوراثية. ان هذه الكمية تعرف بالمعادلة

$$\sum W_T H_T$$

حيث ان W_T هو معامل الوزن المحدد من قبل الـ ICRP الذي يمثل الخطورة الاحتمالية الناتجة عن تشعيع النسيج T الى الخطورة الكلية عندما يتم تشعيع الجسم باجمعه بصورة منتظمة وان H_T هو متوسط مكافئ الجرعة في النسيج T ان رمز هذه الكمية هو HE والقيم الموصى بها معطاة في الجدول 4.1 انها تعتبر مناسبة لوقاية الافراد لجميع الاعمار ولكلا الجنسين للعاملين ولعامة الناس وتتضمن القيم للاعضاء التناسلية مع اخذ التأثيرات الوراثية الشديدة بنظر الاعتبار التي تحدث في الجيلين المقبلين ومن الناحية العملية فان بقية الاعضاء او الانسجة لا تشمل تلك المعطاة في الجدول والتي تتسلم اعلى جرعة مكافئة وان معامل الوزن لكل منها هو 0.06

الجدول 4.1 معاملات الوزن لغرض حساب مكافئ الجرعة المؤثرة

معامل الوزن	النسيج او العضو
0.25	الغدد التناسلية
0.15	الثدي
0.12	نخاع العظام الاحمر
0.12	الرئة
0.03	الغدة الدرقية
0.03	سطوح العظام
0.30	البقية
1.0	عموم الجسم

المصدر 8 (G. Berger et. al. (1981)

وبضمنها الاجزاء المختلفة للقناة الهضمية التي تعامل بوصفها اعضاء منفردة. ان هذا الاسلوب يعطي نفس معامل الخطورة الى جميع الاعضاء والانسجة غير الواردة في الجدول 4.1 وهذا التبسيط يؤثر فقط على طريقة الحساب لمكافئ الجرعة المؤثرة. ان التعريف يغطي كل الانسجة.

ان الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع (ICRP) لا تعتبر الايدي والسواعد والاقدام والكواحل والجلد وعدسات العين داخلة ضمن البقية ولهذا فان هذه الانسجة يجب ان لا تدخل في حساب مكافئ الجرعة المؤثرة وهذا الحذف ينطبق على تقدير مكافئ الجرعة المؤثرة في مجال وقاية الافراد.

يعتبر مكافئ الجرعة المؤثرة كمية لقياس الجرعة وهو كاشف لخطورة الموت من التأثيرات الجسمية والخطورة من التأثيرات الوراثية في الجيلين الاولين (الابناء والاحفاد) التي يفترض انها تنتج من اي تشعيع سواء اكان

منتظماً ام غير منتظم من المصادر الخارجية والمصادر الداخلية. انه لا يشمل الخطورة الوراثية للأجيال التي تلي ذلك ولا اية اعتبارات للتأثيرات الجسمية غير المميتة مثل معظم حالات سرطان الغدة الدرقية وسرطان الجلد.

مكافئ الجرعة المخصصة (Committed dose equivalent)

ان الجرعة الممتصة من التشعيع الخارجي تغطي بنفس الوقت الذي يتعرض فيه النسيج الى المجال الاشعاعي. ولكن بالنسبة للتشعيع الداخلي من النويدات المشعة الداخلة في مركبات الجسم فان الجرعة الممتصة الكلية سوف تنتشر على زمن حيث تعطى بصورة تدريجية وذلك بانحلال النويدات المشعة. كما ان التوزيع الزمني لمعدل الجرعة الممتصة سوف يختلف حسب النويذة المشعة وهيئتها وطريقة دخولها والنسيج الذي دخلت فيه. ولغرض اخذ التوزيع الزمني هذا بنظر الاعتبار فان الـ ICRP قد عرف مكافئ الجرعة المخصصة التي هي التكامل الزمني لمعدلات مكافئ الجرعة في نسيج معين التي سوف تستلم من قبل الفرد بعد تناول للمواد المشعة داخل الجسم. ان الزمن قد حدد على انه 50 عاما الذي يمثل الحياة العملية (Working life Time) والتعريف الرسمي لمكافئ الجرعة المخصصة هو

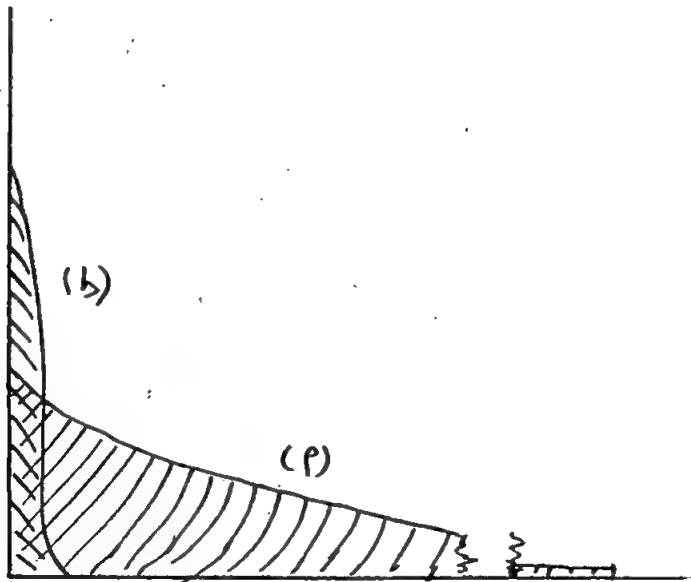
$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0 + 50y} H(t) dt \dots\dots (1.10)$$

لتناول مفرد في زمن t_0 حيث ان $H(t)$ هو معدل مكافئ الجرعة ذات العلاقة في عضو او نسيج في زمن t . ومن الممكن توضيح ذلك في الشكل 1.1 الذي يمثل معدل مكافئ الجرعة في نسيج بدلالة الزمن بعد تناول النويدات المشعة ذات عمر النصف المؤثر القصير والطويل. ان هذا يوضح العلاقة بين معدل مكافئ الجرعة في النسيج ومكافئ الجرعة المخصصة الذي هو مجموع المساحة المضللة.

9.9.3.1 مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent)
lent)

إذا تم ضرب مكافئ الجرعة المخصصة الى الانسجة المفردة الناتجة من التناول بواسطة معامل الوزن المناسب W_T وبعد ذلك جمعت فان النتيجة سوف تكون مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة ولغرض تجنب الابهام في تعريف الانسجة الباقية فان التكامل الزمني يجب ان يتم قبل اختيار الانسجة ذات العلاقة لغرض الجمع.

وهذه الكمية تعطي مقياسا للخطورة الكلية للتأثيرات الجسمية والوراثية المعينة في الفرد الاعتيادي (Average individual) وذريته من تناول المواد المشعة عند التناول وفي السنوات التي تلي التناول.



الشكل 1.1 معدل مكافئ الجرعة في عضو او نسيج معين الذي يتبع التناول للنويدات المشعة (أ) الطويلة عمر النصف المؤثر (ب) القصيرة عمر النصف المؤثر

المصدر ICRP 42 (1984) 66

دليل الجرعة الممتصة

يعرف دليل الجرعة الممتصة H_T في النقطة المثيرة للاهتمام بأنه مكافئ الجرعة القصوى ضمن كرة ذات نصف قطر مقداره 30 سنتمتراً مركزة على نقطة من مادة مكافئة الى الانسجة الطرية ذات كثافة 1 غرام الواحد لكل سنتمتر مكعب. ان هذه الكمية يرمز لها بانها دليل مكافئ الجرعة غير المقيد (unrestricted dose – equivalent index) ان الترتب المهم لهذا التعريف هو H_1 تعرف لمسافات تقرب 15 سنتمترا من المصدر. ان مكافئ الجرعة الاقصى يمكن ان يحدث في اية نقطة في الكرة وانه نادرا ما يحصل في مركز الكرة كما ان تعريف دليل مكافئ الجرعة ربما يحدد لاختذ الاشعاع ذي قوة النفاذ الواطئة بنظر الاعتبار. وفي هذه الحالة فانه من الملائم مراعاة مكافئ الجرعة الاقصى بصورة منفردة في القلب الداخلي في نصف قطر 14 سنتمترا ومكافئ الجرعة الاقصى في القشرة المحيطة التي يكون سمكها سنتمترا واحدا وهذه القيم القصوى يصطلح بتسميتها ادلة مكافئ الجرعة العميقة والسطحية على التوالي وان رموزها هي H_1 و H_{1s} ويرمز لها بادلة مكافئ الجرعة المقيدة. ان الاكبر منها هو مشابه لدليل مكافئ الجرعة غير المقيد. ومن الموصى به ان دليل مكافئ الجرعة السطحي سوف لا يشمل مكافئ الجرعة في الـ 0.07 ملمتر من القشرة ذات السنتمترا الواحد. وذلك لان هذا يمثل عمق الطبقة الاساسية للبشرة في منطقة عندما يكون الجلد رقيقا وان اي تأثير للاشعاع في الـ 0.07 ملمتر الخارجية يفترض انه يمكن اهماله.

الكميات المعنية بالسكان

تتعلق هذه الكميات سواء بصورة مباشرة او غير مباشرة بتعرض السكان الى الاشعاع وهي تكاد تكون جميعها كميات متجمعة مستندة الى كميات فردية اعطيت من قبل وتشمل:

5.4.3.1 مكافئ المتجمعة (Collective dose equivalent)

استنادا الى الفرضية القائلة بان التأثير يتناسب بصورة مباشرة مع مكافئ الجرعة فانه يمكن تعريف كمية بسيطة لقياس مجموع التعرض

الاشعاعي لمجموعة من الافراد.

ان الكمية التي عرفت من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع بوصفها مكافئ جرعة متجمعة تعطى بالمعادلة

$$S = \int_0^{\infty} H N(H) dH \quad \dots\dots (1.11)$$

حيث ان $N(H)dH$ هو عدد الافراد الذين يتسلمون مكافئ جرعة تقع بين H و $H + dH$ او بواسطة

$$S = \sum_i \bar{H}_i N(\bar{H}_i) \quad \dots\dots (1.12)$$

حيث ان $N(\bar{H}_i)$ هو عدد الافراد في السكان للمجموعة الثانوية i (Subgroup) المتسلمين لمتوسط مكافئ جرعة \bar{H}_i كما ان مكافئ الجرعة المتجمعة يمكن ان يقسم الى مكونات تقع ضمنها مجالات محددة للجرعة الفردية.

مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة (Collective effective dose equivalent)

ادا تم التعويض عن مصطلحات مكافئ الجرعة في التعاريف التي سبقت بمكافئ الجرعة المؤثرة فعندئذ تكون التعاريف الناتجة مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة ورمزه S_E .

وكما لوحظ سابقا فان طريقة حساب H_E لا تتضمن اية اعتبارات للامراض السرطانية المميتة المحفزة نتيجة تشعيع الجلد او الاطراف. ان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد اوصت انه بتقدير الضرر الناتج من تعرض مجاميع السكان فان هذا يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار وذلك بواسطة استعمال معامل خطورة في منطقة 10^{-3} Sv الى متوسط الجرعة على جميع سطح الجلد بما يماثل معامل وزن مقداره 0.01 وبما ان الكمية مكافئ الجرعة المؤثرة قد عرف بصورة فريدة باستعمال معاملات الوزن الموجودة في الجدول 4.1 فان اضافة عامل اخر يتطلب تغييرات محددة في العوامل الاخرى لغرض تخفيض المجموع الى واحد.

ومن الناحية التطبيقية فان اضافة معامل قدره 0.01 للجلد لا يستحق اي تغييرات. واذا كانت الظروف تدعو لاخت تشيع الجلد بنظر الاعتبار فعندئذ يكون مجموع مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة زائداً ناتج متوسط جرعة الجلد. ومعاملات الوزن الاضافية يمكن ان يشار اليها مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة (ويضمنها الجلد) وان تعرف في كل مرة تستعمل فيها.

ان كلا التعريفين لمكافئ الجرعة المتجمعة ومكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة لا يحدد بوضوح الزمن الذي تم اعطاء الجرعة فيه او ان الجرعة لمجموعة مفردة تتقدم في العمر ومن ثم تموت او الى تعاقب مجاميع مكافئة وهذا الحذف قد ادى الى بعض الابهام بين الاستعمالات وعلى سبيل المثال بين مكافئ الجرعة المتجمعة ومكافئ الجرعة المتجمعة المخصصة التي سوف تعرف لاحقا. وفي حالات عملية متعددة فان مكافئ الجرعة المتجمعة يحصل عليه بواسطة جمع الجرعة المتسلمة خلال فترة زمنية محددة غالباً ما تكون مدة سنة واحدة. ان الابهام قد يزال فيما لو ان الفترة الزمنية والسكان التي تجمع مكافئ الجرعة المتجمعة او تكامل يجري تحديده بوضوح عندما لا يكون ظاهراً.

وحتى لو كانت الفترة الزمنية التي يجري بمقتضاها حساب مكافئ الجرعة المتجمعة قد اعتبرت على انها سنة واحدة فان مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة المتجمعة الناتجة من تناول النويدات المشعة في تلك السنة يتضمن تكامل 50 سنة لمعدلات مكافئ الجرعة في الاعضاء ذات العلاقة الناتج من التناول.

مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض (Per caput dose equivalent)

اذا تم تشيع السكان بصورة منتظمة وكان عدد السكان يزداد فعندئذ يزداد مكافئ الجرعة المتجمعة بصورة متناسبة. ومن المفيد في بعض الاحيان التعبير عن النتائج بمكافئات الجرعة الى فرد عادي مفترض (Hypothetical average individual) كما ان هذه الكمية تدعى متوسط مكافئ الجرعة ولكن

اصبحت تعرف بمكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض لان ذلك يحدد الكمية التي يجري ايجاد المتوسط لها. وبالرغم من انها على ما يبدو تشير الى فرد فانها تقع ضمن الكميات المتعلقة بالسكان لانها تمثل مكافئ الجرعة الى فرد واقعي مصادفة. انها متوسط مديات مكافئات الجرعة الواقعية. ان من الممكن تعريف مكافئ الجرعة المؤثرة لشخص عادي مفترض بنفس الطريقة المتعلقة بمكافئ الجرعة المؤثرة..

ومن الممكن الحصول على مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض بواسطة قسمة مكافئ الجرعة المتجمعة على زمن محدد في مجتمع معين على عدد الافراد في ذلك المجتمع في ذلك الوقت او بصورة مباشرة اكثر بواسطة متوسط معدل الجرعة الممتصة او تناول النويدات المشعة من المصدر وبهذا نحصل على متوسط مكافئ الجرعة او مكافئ الجرعة المخصصة. ان مثالا على الحسابات الاخيرة هو الحساب المباشر لمكافئ الجرعة الخارجية الناتج عن التوزيع العالمي لكمية معينة من الكربتون - 85 في الجو عن طريق حسابات وسطى لمتوسط تركيز الكربتون في الهواء. وعندما يمكن التكهّن بسير فعالية مستقبلية معينة وخواص السكان المعرضين فان الاختلاف الزمني لمكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض يمكن ان يعرف. ان هذا سوف يكون الاختلاف مع الزمن للفرد العادي في مجتمع محدد وليس بمكافئ الجرعة في الافراد المعيّنين. وعلى سبيل المثال فان المجتمع الذي يهمننا ربما يحدد على انه الاطفال بعمر سنة واحدة ومعدل كمكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض من المطروح من نويدة مشعة محسوب لمدة مائة سنة من زمن الاطلاق. وهذه النتيجة سوف تنطبق على سلسلة من المجاميع من الاطفال الذي تبلغ معدلات اعمارهم سنة واحدة..

8.4.3.1 مكافئ الجرعة المخصصة (Dose – equivalent commitment)

ان من الممكن تكامل الاختلاف في مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض لممارسة معينة بدلالة الزمن ان النتيجة تدعى مكافئ الجرعة المخصصة H_c الذي يعطى بالمعادلة

$$H_c = \int_0^{\infty} \bar{H}(t) dt \quad \dots\dots (1.13)$$

حيث تمثل $\bar{H}(t)$ معدل مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض بدلالة الزمن. واذا كانت حدود الزمن العليا هي المالا نهاية فان الكمية الناتجة تكون معروفة دون اثبات (Without qualification) بانها مكافئ الجرعة المخصصة. واذا انهي التكامل بزمن مقداره T فعندئذ تعرف الكمية الناتجة بمكافئ الجرعة المخصصة الناقص (Truncated (incomplete) dose – equivalent commitment) وانه يجب تحديد الزمن T .

كما ان مكافئ الجرعة المخصصة لا تكون كمية مفيدة بصورة مباشرة لاغراض دراسات التبرير والوصول الى الحالة المثلى لانها تتعلق بمتوسط نظري وانه من الضروري معرفة حجم السكان لغرض الحصول على العدد الكلي من التأثيرات الصحية المفترضة وبهذه الكلفة. ومع هذا فانه من الممكن ايضاح ان معدل مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض المستقبلي الاقصى لوحدة الممارسة في الممارسة المستمرة بنفس المعدل وان جميع العوامل الاخرى ذات العلاقة قد فرض انها تبقى ثابتة سوف تكون في حالة التوازن مساوية عدديا الى مكافئ الجرعة المخصصة لوحدة الممارسة وهذه الملاحظة توفر طريقة بسيطة لتخمين مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض المستقبلية السنوية الناتجة عن استمرار الممارسة.

وبنفس الطريقة فان معدل مكافئ الجرعة لشخص عادي مفترض لوحدة الممارسة التي تستمر بنفس المعدل لـ T سنة حيث يتم بعد هذه المدة ايقافها يكون تحت معظم الظروف مساويا لمكافئ الجرعة المخصصة لشخص عادي مفترض لوحدة الممارسة.

كما ان نفس الاعتبارات تنطبق عند ابدال مكافئ الجرعة بمكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة.

5 مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة

(Collective effective dose equivalent commitment)

ان مصدرا معيناً او ممارسة معينة سوف تعطي معدل مكافئ جرعة مؤثرة متجمعة . تتغير مع الزمن كما ان مجموع مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة الناتجة من الممارسة يعطي بتكامل هذا والتعريف الرسمي لمكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة سوف يكون بذلك

$$SEic = \int_0^{\infty} \dot{S}_E(t) dt \quad \dots (1:14)$$

وبالرغم من ان مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة في سنة يمكن في بعض الاحيان ان يستعمل في دراسات التبرير والوصول الى الحالة المثلى فان الكمية الاكثر فائدة وعلى الاخص عند اخذ الضرر الصحي الكلي بنظر الاعتبار هي مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة حول اتخاذ قرار معين او ممارسة كلية . ومع هذا فان الفرضية الملاحظة عندما ناقشنا مكافئ الجرعة المؤثرة يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار.

ومن ناحية المبدأ فان تخمين معدلات مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة يمكن ان يؤخذ بنظر الاعتبار التنبؤات للتغيرات المستقبلية والظروف البيئية . ومع هذا فان الصعوبة في التخمين تؤدي اعتيادياً الى الفرضية الى الاستمرار غير المحدود للظروف الحالية للمعاملات مثل معاملات الانتقال البيئية وعادات البشر .

وبينما يكون هذا معقولا لفترة قصيرة لبعض حسابات النويدات المشعة الطويلة العمر . والتخصيصات غير المحدودة توحى بان الظروف الحالية تنطبق لآلاف او ربما ملايين السنوات في المستقبل وهو الافتراض الذي يكون عرضة للانتقاد .

وبالرغم من ان الحسابات الرياضية لمكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة المخصصة ربما تبدو بسيطة حتى للنويدات المشعة الطويلة العمر فان الفرضيات التي عملت لابد ان تبقى بالذهن . سوف يكون غالبا هناك ميزة في الابقاء على الدلالة على المستويات السنوية لمكافئ الجرعة المؤثرة الفردية وعلى الاختلافات الزمنية لمعدلات مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة بوصفها اضافية يمكن للمقرارات ان تستند اليها .

كما ان من الممكن انهاء زمن التكامل في زمن مقداره T بعد بدء الممارسة التي تنتج في مكافئ جرعة مؤثرة متجمعة مخصصة ناقصة والقرار لاستعمال هذه الكمية في التبرير والوصول الى الحالة المثلثي بدلا من التكامل اللامحدود لا يمكن ان يبرر دائما بالاشارة الى طول الزمن الذي يفترض ان الممارسة سوف تستمر لانه ربما سوف لا تكون علاقة بين ذلك والزمن T مع هذا في مناسبات متعددة فان ما سوف يكون مطلوبا هو مقارنة بين لتأثيرات ذات المدى القصير (Short term effects) للمقرارات البديلة على سبيل المثال في خيارات معاملة النفايات التي تميز باستعمال كميات ناقصة ولكن ظهر في تكامل غير منتهي .

محمود يوسف الدويهي

هـسإبرهف (اللموئى)

ملحق 2

التعاريف

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

(ملحق 2 التعاريف)

1 الفاعلية (Activity) ان فعالية نظير مشع هي حاصل قسمة عدد التحولات الذاتية التي تحدث في تلك الكمية ويرمز لها بالرمز dN بالفترة الزمنية dt

$$(A = dN / dt)$$

ان الوحدة الخاصة بالفعالية بنظام SI هي البكريل (Bq) والوحدة بالنظام القديم هي الكوري (Ci)

2 التعرض نتيجة الحوادث (Accidental exposure)

وهو التعرض الذي يفوق التعرض فيه احد حدود الجرعة وينتج هذا التعرض مصادفة خارج ارادة الشخص المتعرض وقد يكون الشخص المتعرض احد العاملين في حقول الاشعاع او ان يكون افراد المجتمع عرضة للتعرض الى الاشعاع بصورة غير طبيعية.

3 الحدود السنوية للتناول (Annual limits of intake)

ومختصرها ALI وهي الحدود الثانوية للتعرض الداخلي المهني حيث تكون اقل كمية متناولة في السنة من قبل الرجل القياسي من النظير المشع والذي ينتج عنه مكافئ جرعة مؤثرة مخصصة مقدارها 50 mSv او مكافئ جرعة مخصصة لعدسة العين مقدارها 150 mSv او لاي نسيج او عضو ما مقدارها 500 mSv كما ما هو موضح في المصادر (56 - 60)

4 الطبيب المأذون بالممارسة (Approved medical practioner)

وهو الطبيب الممارس المسؤول عن المراقبة الطبية للعاملين في حقول الاشعاع الذين يشتغلون في القسم آ من ظروف العمل والمعترف بقيامه بهذا النوع من العمل من قبل السلطات المختصة.

5 السلطات المختصة (Competent authority)

سلطة وطنية معينة او معروفة من قبل الدولة انشئت لاغراض الوقاية من الاشعاع (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلاً).

6 المنطقة المسيطر عليها (Controlled area)

وهي المنطقة الخاضعة لقواعد خاصة لغرض الوقاية من الاشعاع ويكون الدخول لهذه المنطقة تحت الشيطره.

7 تحليل الكلفة - المنفعة التفاضلي (Differential cost – benefit analysis)

وهو تحليل متسلسل يشمل التغيرات الجزئية للكلف والمنافع لعدد من الطرائق وهو يعني هنا اسلوبا للوصول بالوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى من حيث النفقات للحصول على تعرض يكون على اقل ما يمكن منطقيا لحدود التعرض الاشعاعي.

8 المجموعة الحرجة (Critical group)

وهي المجموعة التي يكون تعرضها متماثلا بصورة معقولة ويمثل مجموعة الاشخاص الذين يتسلمون اعلى الجرعة.

9 تركيز الهواء المشتقة (Derived air concentration)

وهو حد مشتق لاي نظير مشع يمكن استخراجه من الحدود الاولى عن طريق معادلة ويمثل التركيز في الهواء ($Bq\cdot m^{-3}$) الذي اذا استنشق بواسطة الرجل القياسي لسنة عمل مكونة من 2000 ساعة في ظروف عمل تكون الفعالية فيها قليلة (معدل التنفس 1.2 متر مكعب/ ساعة) ينتج عنه استنشاق (ALI) واحد او التركيز في الهواء الملوث الذي خلال 2000 ساعة ينتج عنه تشعيع لاي عضو او نسيج لاي حد مناسب.

10 الضرر (Detriment)

وهو التوقع الحسابي للضرر والذي يحسب بالاخذ بنظر الاعتبار التأثير واحتمالية الحدوث

11 الجرعة (Dose) ويقصد بها الجرعة الاشعاعية وقد تعني الجرعة الممتصة ومكافئ الجرعة ومكافئ الجرعة المؤثرة ومكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة والجرعة المخصصة او الجرعة المتجمعة. وتستعمل كلمة جرعة بصورة عامة للدلالة على الجرعة الممتصة او مكافئ الجرعة.

12 الجرعة الممتصة (Absorbed dose)

ان الجرعة الممتصة في نقطة من المادة تكون حاصل قسمة الطاقة الرئيسة الداخلة (المنقولة) الى المادة بواسطة الاشعة المؤينة في حجم (dE) على كتلة المادة في ذلك الحجم المحتوي على النقطة التي يراد ايجاد الجرعة فيها

$$(D = dE/dm)$$

ان وحدة الجرعة الممتصة في نظام SI هي جول لكل كيلوغرام واسمها الخاص غراي ووحدتها في النظام القديم هي الراد.

13 مكافئ الجرعة (Dose equivalent)

ورمزه H وهو يساوي ، $(H = DQN)$ حيث يكون Q معامل النوعية وتكون N هي ناتج العوامل المحورة الاخرى وتكون قيمتها واحدا في الوقت الحاضر وتكون D الجرعة الممتصة. ان وحدة مكافئ الجرعة في نظام SI هي السيفريت ومختصرها Sv التي تساوي $1JKg^{-1}$ ووحدتها في النظام القديم الريم (rem)

14 مكافئ الجرعة المؤثرة (Effective dose equivalent)

وهو معطى في المعادلة حيث يرمز له H_E

$$H_E = \sum T W_T H_T$$

حيث يكون H_T معدل مكافئ الجرعة في نسيج او عضو t و W_T هو معامل الوزن حيث يمثل نسبة الضرر الناتج من التأثير المنظور الناتج في النسيج T الى مجموع الضرر الناتج من التأثير المنظور عندما يشع الجسم بصورة منتظمة.

15 مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة (Effective dose equivalent commitment)

ورمزه $(\bar{H}_{E,C})$ ان مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة لاي قرار او عمل هي التكامل الزمني للاحدود لمكافئ الجرعة المؤثرة الفردية (per caput) بمتجمع معين وتعطى قيمتها في المعادلة

$$\bar{H}_{E,C} = \int_0^{\infty} \bar{H}_E(t) dt$$

ولا يشترط ان يكون عدد العاملين المعرضين ثابتا

16 مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent)

ويرمز له (HE, 50) وهو مكافئ الجرعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن تناول المواد المشعة داخل الجسم هو مكافئ الجرعة المؤثرة التي تتجمع خلال 50 سنة بعد التناول وبالمعادلة

$$HE,50 = \int_{t=0}^{t=50y} H_E(t) dt$$

حيث تكون $H_E(t)$ معدل مكافئ الجرعة المؤثرة ذات العلاقة الناتجة من التناول و t_0 هو زمن التناول وفي بعض الاحيان وعند تطلب الضرورة ذلك فانه من الممكن اخذ زمن تكاملي اكثر من 50 سنة لغرض تقدير الجرعة لطيلة العمر.

17 مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة (Collective effective dose equivalent)

ويرمز لها S_E وهي مجموع الضرر الصحي الناتج عن مصدر معين وتعطى بالمعادلة

$$SE = \int_0^{\infty} H_E \cdot N(H_E) \cdot dH_E \text{ Cin man sievert}$$

حيث يكون $N(H_E) dH_E$ هو عدد الاشخاص الذين يستلمون مكافئ جرعة مؤثرة تتراوح بين H_E و $H_E + dH_E$ من مصدر معين.

18 دلائل مكافئ الجرعة (Dose equivalent indices)

وتشمل :

- 18.1 دليل مكافئ الجرعة العميق (Deep dose equivalent index) ورمزه HI,d الذي يكون في نقطة هو اقصى مكافئ جرعة ضمن نصف قطرقدره

28 ستمترا من كرة نصف قطرها 30 ستمترا متمركزة على هذه النقطة ومتكونة من مادة مكافئة لنسيج طري كثافته 1 غرام لكل ستمتر مكعب

2.18 دليل مكافئ الجرعة الضحل (Shallow dose equivalent index) ورمزه HI_s وهو أقصى مكافئ جرعة ضمن حجم بين 0.07 ملمتر وواحد ستمتر من سطح كرة نصف قطرها 30 ستمتر متمركزة على النقطة ومكونة من مادة مكافئ نسيج طري ذي كثافة 1 غرام لكل ستمتر مكعب.

19 الكترون فولت Electron Volt ومختصره eV وتبلغ قيمته حسب المعادلة $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

20 تعرض الطوارئ (Emergency exposure) وهو التعرض الذي يتسلم في الحالات غير الطبيعية لغرض منع الاصابات او انقاذ الحياة او الممتلكات.

21 التعرض (Exposure) ويعني تعرض الاشخاص للاشعة المؤينة وقد يكون

1.2.1 تعرضا خارجيا External exposure وهو تعرض الى مصادر اشعاعية موجودة خارج الجسم.

2.21 التعرض الداخلي Internal exposure وهو التعرض الى مصادر اشعاعية داخل الجسم

3.21 التعرض الكلي Total exposure ويشمل مجموع التعرض الخارجي والتعرض الداخلي.

22 الاشعة المؤينة (Ionization radiation) وهي الاشعة الكهرومغناطيسية وتشمل الاشعة السينية وفوتونات كاما او اشعاع جسيمى قادر على انتاج تاين خلال مروره بالمادة

23 الادارة (Management) وترمز الى التركيب الاداري وسلسلة المسؤوليات لغرض تشغيل منشأة او القيام بعملية تستعمل فيها مواد مشعة او مصدر مشع وتستعمل هنا كلمة رب العمل للعاملين تحت سلطته.

24 التعرض الطبي (Medical exposure) وهو التعرض الناتج عن الفحص والمعالجة الطبية.

25 التعرض الطبيعي للاشعاع (Natural radiation exposure) وهو تعرض الانسان لمصادر الاشعاع الطبيعية من داخل جسمه ومن مصادر الاشعاع الخارجية التي تشمل الاشعة الكونية وكذلك مصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي من النظائر المشعة الموجودة بصورة طبيعية في قشرة الارض وفي الهواء.

26 التعرض الى الاشعاع الطبيعي (المحور تقنياً)
(Technologically enhanced natural radiation exposure)

وهو التعرض الناتج من المصادر الطبيعية التي غيرت حالتها الاصلية بفعل النشاط البشري: ان هذا التعرض ربما يحدث من استعمال خامات المعادن او المخلفات الصناعية مثل مواد البناء واستخدام الوقود النفطي والاسمدة المحتوية على الفوسفات وتشغيل بعض المناجم والسفر جواً.

27 النويذة (Nuclide) ذرة لها عدد معين من النيوترونات والبروتونات في نواتها. ان النويدات التي لها نفس العدد الذري ولكن لها كتل مختلفة تدعى نظائر

28 التعرض المهني (Occupational exposure) وهو التعرض الذي يحصل نتيجة اشتغال الافراد.

29 الخبير المؤهل (Qualified expert) وهو الشخص الذي لديه الخبرة والتدريب حسب متطلبات السلطات المختصة لفرض ابداء المشورة للخطوات المتخذة في مجال وقاية الاشخاص العاملين في حقول الاشعاع المؤين.

30 معامل النوعية (Quality factor) وهو المعامل الذي يستعمل لوزن الجرعة المتصورة لايجاد مكافئ الجرعة

31 الاشعاع (Radiation) ويعني به الاشعاع المؤين

32 مسؤول الوقاية من الاشعاع (Radiation protection officer) وهو شخص مؤهل عمليا وهو معين من قبل الادارة لغرض الاشراف على تطبيق انظمة واجراءات الوقاية من الاشعاع.

33 المصدر المشع (Radiation source) وهو المادة او الجهاز القابل على انتاج الاشعة المؤينة.

34 الرعاية الصحية الخاصة (Special health supervision) وهو التحري الطبي الذي يشمل التحري الطبي الاعتيادي والتحري الخاص للعاملين في الحالة A ويعتمد على طبيعة المخاطر الخاصة بالعمل بالاضافة الى المتطلبات الصحية المتعلقة بطبيعة العمل.

35 مستوى العمل الشهري (Working level month)

ومختصره WLM وهو الوحدة العملية المعبر عنها بالزمن التكاملي

للتعرض المستعملة في حالات الاستنشاق لبنات الرادون - 222

والرادون - 220 القصيرة العمر وهو يساوي 0.02J لبنات

الرادون - 222 و 0.01J لبنات الرادون - 220

الملحق (3)

معاني الكلمات

(الملحق 3 معاني الكلمات)

Abnormal exposure	التعرض غير الطبيعي
Absolute assessment	التقدير المطلق
Absorbed dose index	دليل الجرعة الممتصة
Absorbed dose rate	معدل الجرعة الممتصة
Absorbed fraction method	طريقة الجزء الممتص
Accidental exposure	التعرض نتيجة الحوادث
Acceptable risk	الخطورة المقبولة
Access control	السيطرة على الدخول
Activity concentration	تركيز الفعالية
Activated corrosion products	نواتج التآكل المنشطة
Activated gases	الغازات المنشطة
Activity	الفعالية
Acute effect,	التأثيرات القصيرة الامد (الحادة)
Acute exposure	التعرض لوقت قصير (الحاد)
Air equivalence	المكافئ الهوائي
Alpha emission	بعث الفا
Alpha particles	جسيمات الفا
Ambient concentration	التركيز الطبيعي
Ambient levels	المستويات الطبيعية
Annihilation	الفناء
Annihilation radiation	اشعاع الفناء
Annual absorbed dose index	دليل الجرعة الممتصة السنوي
Annual collective dose	الجرع المتجمعة السنوية
Annual intake of radionuclides	التناول السنوي للنويدات المشعة
Annual limits of intake	حدود التناول السنوي

Anorexia	فقدان الشهية
Antineutróno	مضاد النيوترونو
Antistatic device	جهاز مضاد للكهربائية المستقرة
Appropriate intervention level	مستوى التدخل المناسب
Approved medical practioner	الطبيب الممارس المعتمد
Aquatic pathway	الطرائق المائية
Artificial radionuclides	النويدات المشعة الصناعية
As low as reasonably	اقل ما يمكن منطقياً
Assessment methodology	الطرائق التخمينية
Astronauts	رواد الفضاء
Atom	ذرة
Atomic cross section	مقطع الذرة العرضي
Atomic mass	كتلة الذرة
Atomic weight	الوزن الذري
Atmospheric diffusion factor	معامل الانتشار الجوي
Almospheric transport	الانتقال الجوي
Attenuate	يوهن
Authorized	مصرح به
Authorized limits	الحدود المصرح بها
Authorized reference level	الحدود المصدرية المصرح بها
Average absorb dose	متوسط الجرعة الممتصة
Average activity concentration	متوسط تركيز الفعالية
Average annual intake	متوسط التناول السنوي
Average outdoor terrestrial	متوسط الجرعة الممتصة
absorbed dose rate	الارضية في العراء

Average whole body dose	متوسط جرعة عموم الجسم
Backscatter	تشتت مرتد
Base nuclide	نوييدة عادية
Basal cells	خلايا قاعدية
Basal layer	طبقة قاعدية
Basic dose limits	حدود الجرعة الاساسية
Basic safety standard	معايير السلامة الاساسية
Becquerel	وحدة قياس الفعالية لنظام SI
Beta burns	الحروق الناتجة بفعل اشعة بيتا
Beta emmitters	مطلقات دقائق بيتا
Beta particles	دقائق بيتا
Beta - ray counting	عد دقائق بيتا
Bioconcentration	التركيز الحياتي
Biological decay constant	ثابت الانحلال الحياتي
Biological effect of radiation	التاثير البايولوجي للاشعاع
Biological elimination rate	معدل الطرح الحياتي
Biological	حياتي
Biosphere	الوسط الحياتي
Blood forming system	نظام تكوين الدم
Body burden	عبيء الجسم
Bone lining cells	الخلايا المبطنة للعظام
Bone minerals	املاح العظام
Bone marrow transplant	زرع نخاع العظام
Bone seekers	قاصدات العظم
Bound electrons	الالكترونات المرتبطة

Bremsstrahlung

Burn out feul

By product

Calibration

Calibration quantities

Calorimetry

Candle

Carcinogen

Carcinogenic risk

Cataract

Cellular level

Charged particles

Chelating agents

Chemical dosimetry

Chromosomal abberation

Chronic exposure

Cladding

Classification of workers

Classification of work places

Collective dose

Collective dose commitment

Collective effective dose equivalent

Collective intake

Collision stopping power

اشعاع الايقاف (الكبح)

الوقود المحروق

نواتج عرضية

تصيير

كثيات تعبير

مقياس الشعرات

شمعة

مسببة للسرطان

الخطورة السرطانية

عتمة عدسة العين

مستوى الخلية

الجسيمات المشحونة

مركبات مخلية

مقاييس الجرعة الكيميائية

التكسر الكروموسومي

التعرض الطويل الأمد

الاحتواء

تصنيف العاملين

تصنيف محلات العمل

الجرعة المتجمعة

الجرعة المتجمعة المخصصة

مكافئ الجرعة المؤثرة المتجمعة

التناول المتجمع

قوة الايقاف الارتطامية

Compartment model	النموذج الحيزي (الحجيري)
Compton scattering process	فعالية تشتت كومبتن
Concentration factor	معامل التركيز
Condition of exposure	ظروف التعرض
Conservative assessment	تقدير محافظ
Consumer products	سلع استهلاكية
Containment building	البنية الحاوية
Containment of waste	احتواء النفايات
Control rods	قضبان السيطرة
Conversion efficiency	كفاءة التحويل
Conversion electron	الالكترونات المحولة
Corpuscular emission	انبعاث حزمي
Correction factor	معامل تصحيح
Cosmic rays	الاشعة الكونية
Cosmogenic radionulides	النويدات المتولدة بفعل الاشعة الكونية
Cost - benefit analysis	تحليل الكلفة - المنفعة
Count rate	معدل العد
Critical group	المنجوعة الحرجة (الاكثر تأثراً)
Critical tissue	النسيج الحرج
Curie	وحدة قياس الفعالية القديمة
Cyclotron	المعجل
Decay	انحلال
Decay constant	ثابت الانحلال
Deep dose equivalent index	دليل مكافئ الجرعة العميق
Delay electrons	الالكترونات المؤجلة
Delayed somatic effects	التأثيرات الجسمية المؤجلة

Depleted uranium	اليورانيوم المستنفد
Deposition Velocity	سرعة الترسيب
Derived air concentration	تركيز الهواء المشتق
Derived intake level	حدود التناول المشتقة
Derived limits	الحدود المشتقة
Detection	الكشف
Detector	كاشف
Deuterium	الهيدروجين الثقيل
Differential cost – benefit analysis	تحليل الكلفة – المنفعة التفاضلي
Disintegration	اضمحلال (انحلال)
Disposal	ردم
Dose	جرعة
Dose conversion factor	معامل تحويل الجرعة
Dose equivalent	مكافئ الجرعة
Dose – equivalent index	دليل مكافئ الجرعة
Dose – equivalent rate	معدل مكافئ الجرعة
Dose – fractionation	تقسيم الجرعة
Dose – limitation system	نظام تحديد الجرعة
Dose – rate	معدل الجرعة
Dose – response relationship	علاقة الجلاء بالاستجابة
Dosimeters	مقاييس الجرعة
Dosimetric models	نماذج مقاييس
Dosimetric parameters	معاملات مقاييس جرعة
Effluent	المواد المطروحة
Effluent release	طرح المواد
Effective atomic number	العدد الذري المؤثر

Effective decay constant	ثابت الانحلال المؤثر
Effective dose – equivalent	مكافئ الجرعة المؤثر
Effective specific activity	الفعالية الخاصة المؤثرة
Elastic scattering	التشتت المرن
Electrons	الالكترونات
Electron capture	اسر الالكترون
Electron mass	الزوج الالكترون - البوزتروني
Electron – positron pair	كتلة الالكترون
Electromagnetic radiation	الاشعاع الكهرومغناطيسي
Elementary particles	الجسيمات الابتدائية
Emergency	حالة طوارئ
Emergency exposure	التعرض في حالة الطوارئ
Emergency plan	خطة الطوارئ
Energetic electrons	الالكترونات المشحونة الطاقة
Energetic gamma rays	اشعة كاما المشحونة الطاقة
Energy	طاقة
Energy fluence	دفع الطاقة
Energy imparted	الطاقة الداخلة
Energy orbit	مدار الطاقة
Energy response	استجابة الطاقة
Energy state	حالة الطاقة
Enhanced indoor exposure	التعرض داخل الابنية المزداد
Environment concentration	التركيز البيئي
Environment removal process	فعاليات الازالة البيئية
Environment state	حالة البيئة
Environment transport	الانتقال البيئي

EPA	وكالة البيئة الامريكية
Epidemiological studies	الدراسات المرضية
Epilation	تساقط الشعر
Epithermal neutrons	النيوترونات شبه الحرارية
Equilibrium dose constant	ثابت جرعة التوازن
Excited state	حالة التهيج
Exposure	تعرض
External exposure	تعرض خارجي
External source	مصدر خارجي
Extraterrestrial origin	ذات المنشأ غير الارضي
Fabrication	تصنيع
Fallout	المتساقطات
Fast breeder reactor	مفاعل التوليد السريع
Fast neutrons	النيوترونات السريعة
Fitness	ملائمة
Finite cloud	غيمة منتهية
Fission chain reaction	تفاعل متسلسل انشطاري
Fission fragments	شظايا الانشطار
Fission neutrons	نيوترونات انشطارية
Fission products	نواتج الانشطار
Fluence	دفق
Fluence density	كثافة الدفق
Fluorescence	التوهج (تألق)
Fluorescence radiation	اشعاع التألق
Fluorescence yeild	ناتج التألق

Flux	فيض
Flux density	كثافة الفيض
Free electrons	الكترونات حرة
Fuel	وقود
Fuel fabrication plant	معمل تصنيع الوقود
Fuel pins	اقلام الوقود
Fuel reprocessing	اعادة معاملة الوقود (استخلاص)
Galactic cosmic rays	الاشعة الكونية الكواكبية
Galactic low energy protons	البروتونات الكواكبية ذات الطاقة الواطئة
Gamma rays	اشعة كاما
Gamma rays count	عد اشعة كاما
Gamma ray spectrometry	تحليل اطياف كاما
Gastro - intestinal system	الجهاز الهضمي
Gene mutation	الطفرة الجينية
Genetic damage	التلف الوراثي
Genetically significant dose	الجرعة المهمة وراثيا
Geological containment	الاختواء الجيولوجي
Germ cells	الخلايا الجنسية
Global model	النموذج العالمي
Gonads	الاعضاء التناسلية (الغدد)
Ground level concentration	مستوى التركيز الارضي
Ground state	الحالة الارضية
Guideline	ضوابط
Haemopoietic system	نظام الدم
Half life	عمر النصف

Half value layer	الطبقة المنصبة للقيمة
Hard gamma	اشعة كاما القوية
Health detriment	الضرر الصحي
Health supervision	الرقابة الطبية (الاشراف الطبيي)
Heavy hydrogen	الهيدوجين الثقيل
Heavy water reactor	مفاعل الماء الثقيل
Heredity defects	العيوب الوراثية
Heterogenous	هجين
High activity waste	النفايات العالية النشاط الاشعاعي
High dose rate	معدل جرع عالي
High energy cosmic ray	الاشعة الكونية العالية الطاقة
High energy radiation	الاشعاع ذو الطاقة العالية
High level waste	النفايات المشعة ذات مستوى الفعالية العالي
High linear energy transfer	انتقال الطاقة الخطي العالي
Highly converted transition	التحولات العالية
ICRP	اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع
Incident mono – energatic photon	الفوتون الساقط الاحادي الطاقة
Indirectly ionizing	مؤين بصورة غير مباشرة
Individual risk criteria	مفاهيم الخطورة الفردية
Industrial tracers	معلّات صناعية
Industrial radiography	تطبيقات صناعية للاشعاع
Inelastic collision	ارتطام غير مرن
Inelastic scattering	تشتت غير مرن
Ingrowth radon progeny	تراكم خلف الرادون

Initial dose rate	معدل الجرعة الاولى
Interaction of charged particles	تفاعل الجسيمات المشحونة
Interaction of radiation with matter	تفاعل الاشعاع مع المادة
Internal bremsstrahlung	اشعاع الايقاف الداخلي
Internal conversion	التحول الداخلي
Internal conversion coefficient	معامل التحول الداخلي
Internal emitters	باعثات داخلية
Ionizing radiation	الاشعاع المؤين
Ionizing radiation dosimetry	مقاييس جرعة الاشعاع المؤين
Irradiation	تشعيع
Isobars	نويدات مختلفة العدد الذري متساوية العدد الكتلي
Isomers	نويدات لها نفس العدد الذري والعدد الكتلي
Isotones	نويدات لها نفس العدد من النيوترونات ولكن العدد الكتلي مختلف
Isotops	نظائر مشعة (نفس العدد الذري واعداد كتلية مختلفة)
Kinetic energy	طاقة حركية
Latency	كامنة
Lens opacities	عتمة العين
Life shortening	تقصير العمر
Limits	حدود
Linear attenuation coefficient	معامل التوهين الخطي
Linear energy transfer	انتقال الطاقة الخطي

Liquid effluent	مواد سائلة
Liquid radioactive waste	نفايات مشعة سائلة
Local dose rate	معدل جرعة محلي
Local operation instruction	تعليمات تشغيل محلية
Log – normal form	شكل لوغاريتم – اعتيادي
Low. activity gaseous waste	نفايات مشعة غازية واطئة النشاط الاشعاعي
Low activity liquid waste	نفايات مشعة سائلة واطئة النشاط الاشعاعي
Low level waste	نفايات مشعة واطئة النشاط الاشعاعي
Lymph nodes	العقد اللمفاوية
Major pathway	طريق رئيسي
Man – made – sources	مصادر صناعية
Mass absorption coefficient	معامل الامتصاص الكتلي
Mass attenuation coefficient	معامل التوهين الكتلي
Mass defects	العيوب الكتلية
Mass energy absorption	امتصاص الطاقة الكتلي
Mass number	العدد الكتلي
Mathematical model	النموذج الحسابي
Maximum cosmic rays flux density	كثافة الفيض القصوى للأشعة الكونية
Maximum energy transfer	انتقال الطاقة الاقصى
Maximum exposure rate	معدل التعرض الاقصى
Maximum fractional transfer	الانتقال الجزئي الاقصى
Maximum permissible body burden	عبء الجسم الاقصى المسموح به

Mean life	متوسط العمر
Measuring instrument	جهاز قياس
Measuring standard	معيار قياس
Median lethal dose	التي تقتل 50%
Medical exposure	التعرض الطبي
Member of public	افراد السكان
Metabolic parameters	معاملات التمثيل
Meteorological dispersion calculations	حسابات الانتشار الجوي
Mid line tissue dose	جرعة وسط النسيج
Mid point dose	جرعة الوسط
Migration	تحرك ونزوح
Molecular biology	علم الاحياء الجزيئي
Monitoring	مراقبة
Mono – energetic	احادية الطاقة
Mutation frequency	تردد الطفرات
Mutation rate	معدل الطفرات
National authority	السلطة الوطنية
National standard	المعيار الوطني
Natural background	الخلفية الاشعاعية
Natural isotops	النظائر المشعة الطبيعية
Natural radioactivity	النشاط الاشعاعي الطبيعي
Nausea	الغثيان
Neutron	النيوترونات
Neutron capture	الاسر النيوتروني
Neutron detection	الكشف عن النيوتونات
Neutron dose equivalent	مكافئ الجرعة النيوترونية

Neutron energy transfer	انتقال طاقة النيوترونات
Neutron number	العدد النيوتروني
Neutron process	الفعالية النيوترونية
Noble gases	الغازات النبيلة
Non – fatal disability	العوق غير المميت
Non – radiological detriment	الضرر غير الاشعاعي
Non – radiological hazard	الخطورة غير الاشعاعية
Non – stochastic	غير احتمالي، غير عشوائي
Normal diet levels	مستويات الاغذية الطبيعية
Normalized collective absorbed dose equivalent commitments	مكافئ الجرعة المعدلة الممتصة المتجمعة المخصصة
Nominal dose	الجرعة النظرية
Nuclear fission	انشطار نووي
Nuclear fission reaction	تفاعلي انشطاري نووي
Nuclear fuel cycle	دورة الوقود النووي
Nuclear medicine	الطب الذري
Nuclear photoelectric effect	التأثير النووي الكهروضوئي
Nuclear reaction	التفاعل النووي
Nuclei	النواة
Nuclide	النوييدة
Occupational exposure	تعرض مهني، تعرض وظيفي
Occupational limits	الحدود المهنية، الحدود الوظيفية
Occupational workers	العاملين المهنيين
Operation	التشغيل
Operation instruction	تعليمات التشغيل
Operation limits	الحدود التشغيلية

Operation procedure	اساليب التشغيل
Operation quantities	كميات تشغيلية
Optimal theoretical protection	الوقاية المثلى النظرية
Out door source of radiation	مصادر الاشعاع في العراء
Over exposed person	شخص تعرض غالبا للاشعاع
Over exposure	التعرض العالي الاشعاع
Pair production	انتاج الزوج
Parent nuclide	النوييدة الالهل
Partial body exposure	تعرض جزء من الجسم
Partial containment	الاحتواء الجزئي
Partial dominance	التغلب الجزئي
Particle counting	عدد الجسيمات
Particulate radionuclide	النويدات المشعة الجسيمية
Pasquill meteorological categories	اصناف باسكوال الانوائية
Penterating beta radiation	اشعاع بيتا النفاذ
Permenant scarring	الندب الدائمة
Personal dose	الجرع الشخصية
Phantom	شبح
Phosphate fertilizers	الاسمدة الفوسفاتية
Phosphate rocks	الصخور الفوسفاتية
Phosphogypsum	الجبس الفوسفاتي
Photoelectrons	الالكترونات الضوئية
Photons	الفوتونات
Photon flux	الفيض الفوتوني
Physical average life	متوسط العمر الفيزياوي
Physical surveillance	المراقبة الفيزياوية

Planned special exposure	التعرض المتعمد الخاص
Plutonium recycling	اعادة استعمال البلوتونيوم
Pneumonia	ذات الرئة
Pocket dosimeter	مقياس الاشعاعي الجيبى
Point mutation	طفرة نقطية
Point Source	مصدر نقطي
Point source equation	معادلة مصدر نقطي
Positive net benefit	منفعة صافية موجبة
Power plants	محطات القوى
Premature aging	شيخوخة مبكرة
Pressurized water reactor	مفاعل الماء المضغوط
Primary cosmic rays	الاشعة الكونية الابتدائية
Primary circuit water	مياه الدورة الاولى
Primary dose equivalent limits	حدود مكافئ الجرعة الابتدائية
Primary galactic cosmic rays	الاشعة الكونية الكواكبية الابتدائية
Primary limits	الحدود الابتدائية
Primary standards	المعايير الابتدائية
Primordial radionuclides	النويدات المشعة
Prodromal syndrome	مرض الاشعاع
Prognosis	تطور المرض
Proportional counter	العداد التفاضلي
Protons	البروتونات
Provision	ضوابط
Quality control	السيطرة النوعية
Quality factor	معامل النوعية
Quality of radiation	نوعية الاشعاع

Radiation	الاشعاع
Radiation chemical yeild	ناتج الاشعاع الكيماوي
Radiation concept	مفهوم الاشعاع
Radiation detriment	الضرر الاشعاعي
Radiation dosimetry	مقياس الجرعة الاشعاعية
Radiation field	المجال الاشعاعي
Radiation intensity	شدة الاشعاع
Radiation monitoring	المراقبة الاشعاعية
Radiation sickness	مرض الاشعاع
Radioactive atomic transformation	تحول ذري مشع
Radioactive chain	سلسلة مشعة
Radioactive constant	ثابت الاشعاع
Radioactive decay	الانحلال الاشعاعي
Radioactive decay law	قانون الانحلال الاشعاعي
Radioactive equilibrium	التوازن الاشعاعي
Radioactive nuclear particles	الجسيمات النووية المشعة
Radioactive progeny	الخلف الاشعاعي
Radioactive release	طرح المواد المشعة
Radioactive series	السلسلة المشعة
Radioactive waste	النفايات المشعة
Radioactivity	النشاط الاشعاعي
Radioactivity of air	نشاط الهواء الاشعاعي
Radioactivity of natural environment	النشاط الاشعاعي في البيئة الطبيعية
Radioactivity in water	النشاط الاشعاعي في الماء
Radiochemistry	الكيمياء الاشعاعية

Radioisotops production	انتاج النظائر المشعة
Radiological consequence	المتريبات الاشعاعية
Radiological protection	الوقاية من الاشعاع
Radioluminous products	المنتجات اللامعة
Radiometry	طريقة القياس الاشعاعية
Radionuclides	النويدات المشعة
Radiopharmaceuticals	المواد الصيدلانية المعلمة بالاشعاع
Radiotherapy	المعلمة بالمواد للشعة
Radon decay constant	ثابت انحلال الرادون
Range	مدى
Rate of energy flux density	معدل كثافة الفيض للطاقة
Reactor	مفاعل
Reactor shut down	ايقاف المفاعل
Recessive mutation	طفرة وراثية متنحية
Recording level	مستوى التسجيل
Recoiled particles	الجسيمات المرتدة
Red bone marrow	نخاع العظام الاحمر
Reference accident	حادثة مصدرية
Reference distribution	توزيع مصدرى
Reference levels	حدود مصدرية
Reference radiation	اشعاع مصدرى
Refernce situation	حالة مصدرية
Reference standard	معيار مصدرى
Regional dispersion	الانتشار المحلى
Regulatory bodies	الهيئات التشريعية
Relative biological effectiveness	الفعالية البيولوجية النسبية

Remedial actions	الاجراءات التصحيحية
Reprocessing of irradiated fuel	اعادة معادلة الوقود المشع
Resonance neutrons	النيوترونات الرنانة
Repository	محلات ردم النفايات
Rest mass	الكتلة في حالة الاستقرار
Restricted exposure	التعرض المحدد
Restricted linear collision	الارتطام الخطي المحدد
Restricted stopping power	قوة الايقاف المحددة
Risk assessment	تقدير الخطورة
Risk factor	معامل الخطورة
Roentgen	وحدة التعرض القديمة
Roentgen equivalent man	رونكن مكافئ الرجل
Secondary comic rays	الاشعة الكونية الثانوية
Secondary limits	الحدود الثانوية
Secondary particles	الجسيمات الثانوية
Secondary standard	المعايير الثانوية
Secondary standard dosimetry laboratory	مختبر التعيير الثانوي
Semiconductor detectors	الكواشف شبه الموصلة
Semi - infinite cloud model	نموذج الغيمة شبه المستمرة
Shallow - dose equivalent index	دليل مكافئ الجرعة السطحية
Shell	مدار
Shield	درع (حاجز)
Skin erythema dose	جرعة احمرار الجلد
Slow neutrons	النيوترونات البطيئة

Smoke detectors	كواشف الدخان
Soft tissue	نسيج طري
Soil plant translocation coefficient	معامل الانتقال بين التربة والنبات
Solar cosmic rays	الاشعة الكونية الشمسية
Solar system	النظام الشمسي
Solid radioactive waste	النفايات المشعة الصلبة
Somatic effects	التأثيرات الجسمية
Spa water	مياه معدنية
Special monitoring program	برنامج مراقبة خاص
Specific activity	الفعالية الخاصة
Specific dose rate constant	ثابت معدل الجرعة الخاصة
Specific ionization	التأين الخاص
Spent fuel	الوقود المستنفد
Spontaneous disintegration	الانحلال الذاتي
Spontaneous fission	الانشطار الذاتي
Stability condition	ظروف الاستقرار
Stochastic health effects	العشوائية
Stopping power	قوة الايقاف
Sublethal dose	جرعة غير مميتة
Supervised area	المنطقة المراقبة
Synergistic	تعاضدي
Tailing	بقايا
Technologically enhanced exposure	التعرض المزاد تقنياً بالتصنيع
Terrestrial environment	البيئة الارضية
Terrestrial model	النموذج الارضي
Terrestrial origin	ذات المنشأ الارضي

Therapeutic use of radiation	استعمال الاشعاع في العلاج
Thermal neutrons	النيوترونات الحرارية
Thermoluminescent	اللمعان الحراري
Thorium isotops	نظائر الثوريوم
Threshold	الحد الخرج
Threshold dose	الجرعة الحرجة
Tissue equivalent	مكافئ النسيج
Tissue equivalent sphere	كرة مكافئ النسيج
Total activity	الفعالية الكلية
Total burden	العبء الكلي
Total containment	الاحتواء التام
Total detriment	الضرر الكلي
Total impact	المتربات الكلية
Tracer studies	الدراسات بالمواد المعلمة
Transformation of element	تحولات العناصر
Transuranium element	العناصر ما فوق اليورانيوم
Treatment of waste	معاملة النفايات
Ultimate disposal of waste	الردم النهائي للنفايات
Uni - directional exposure	التعرض من اتجاه واحد
Units	وحدات
Units of radiation	وحدات الاشعاع
Unplanned release	الطرح غير المخطط له
UNSCEAR	اللجنة العلمية للامم المتحدة حول تأثير الاشعاع الذري
Uranium concentrate	مركز اليورانيوم
Uranium fuel fabrication	تصنيع وقود اليورانيوم

Uranium isotops

نظائر اليورانيوم

Uranium milling

طحن اليورانيوم

Uranium mining

تعدين اليورانيوم

Weighted absorbed dose

الجرع الممتصة الموزونة

Wet deposition

الترسيب الرطب

Wet process

المعاملة الرطبة

WHO

منظمة الصحة العالمية

Whole body counter

عداد عموم الجسم

Whole body exposure

تعرض عموم الجسم

Working levels

حدود العمل

Working level month

وحدة قياس للتعرض

X - ray

الاشعة السينية

X - ray tube

انبوب الاشعة السينية

المصادر

1. Altman, K. I., Geber, G.B. and Okada, S.C. (1970) Radiation Biochemistry Vol II.
2. Ashwood, M.J. (1983) Phys Boll, 34, 385 - 386.
3. Bauchinger, et. al. (1983) Radiation and Environmental Biophysics 22, 22: 229.
4. Blanchard, F.A. and Lickly, T.D. (1983) Environ. Internat. 9, 63 - 67.
5. Bowen, H. J. C (1979) Environmental Chemistry of the Elements Academic Press London.
6. Bredehoeft, J. D and Maini, T. (1981) Science 213, 293 - 296.
7. Bunn, M. and Tsipis, K. (1983) Scientific American 249, 32 - 41.
8. Burger, G. et. al. (1981) Radiation Protection Quantities for External Exposure. Harwood Academic Publishers, 7, 323 - 350.
9. Carnes S.A. et. al (1983) Energy system and policy, 7, 323-350 (1983) Environmental Scientific Protection, 7, 323-350
10. Chester, R. O. and FiHs, RB eds (1983) Nuclear Safety 24, 372 - 382.
11. Clarke, R. H. (1982) Radiol. Prot. Bull. 49, 7-10.
12. Confman, F.E. (1982) The management of radioactive waste from uranium mining and milling. Proc. Symp. IAEA Vienna.
13. Cohen, B.L. (1982) Health Physics 40; 19-25.
14. Cohen, B.L. (1982) Ibid 42, 753-757.
15. Cothorn, et. al. (1983) Health Physics 44 , 377-383.
16. Cox, L.A. et. al. (1983) Nuclear Safety 24, 459 - 470.
17. Crow, J.F. and Denniston, C. (1981) Science 212, 888 - 893.
18. Csongon, E. and Hertel endi, E. (1982) Atomki Kozlemenyek 3, 179 - 183.
19. Dix, H. M. (1981) «Environmental Pollution» John Wiley and Sons U.S.A.
20. Dunning, D.E. and Killough, G.G. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 3 - 9.
21. Etnier, E.L. and Travis, C.C. (1983) Nuclear Safety 24, 671 - 677.
22. Fabrikants, J. F. (1981) Health Physics 40, 151 - 161.
23. Fetter, S.A. and Tsipis, K. (1981) Scientific American 244, 41-47.
24. Foderaro, A. (1971) The Elements of Neutron Interaction Theory. MIT Press U.S.A.
25. Fritschen, L.J. and Gag, L.W. (1979) «Environmental Instrumentation. Springer - Verlag New york:
26. Gentry, R.D. and Travis, C.C. (1981) Health Physics 40, 73 - 76.
27. Glotfelty, D.E. and Taylor, A.W. (1983) Science 219, 834-845.
28. Greening, J.R. (1981) Fundamental of Radiation Dosimetry Adam Hilger

29. Hamilton, L.D. (1985) Nuclear, Safety 24, 155-172.
30. Healy, J.W. (1982) Health Physics 42, 407-413.
31. Helton, J.C. and Iman, R.L. (1982) Health Physics 42, 565-584.
32. Hill, M.D. (1981) J. Radiol. Prot. 1, 30-32.
33. Hippel, F.V. (1983) Nuclear Safety 24, 904 - 906.
34. Hori, T.A. and Nakai, S. (1978) Mut. Res. 50, 101-110.
35. Hutzinger, O. (1980) «The Handbook of Environmental Chemistry» Vol. 3 part A Springer- Verlag, W. Germany.
36. IAEA (1973) «Radiation Protection Procedures» (Safety Series No 38) IAEA Vienna.
37. IAEA (1978) «Monitoring of Airborne and Liquid Radioactive Releases from Nuclear Facilities to the Environment (Safety Series No 46) IAEA Vienna.
38. IAEA (1978) National and International Standardization of Radiation Dosimetry Vol II Proceed. Symp. IAEA Vienna.
39. IAEA (1978) Principles for Establishing limits for Release of Radiocative Materials into the Environment IAEA Vienna.
40. IAEA (1980) «Site Selection and Evaluation for Nuclear Power Plants with Respect to Population Distribution (Safety Series. No 50- SG. 54). IAEA Vienna.
41. IAEA (1980) Basic Requirements for Personnel Monitoring, Dafety Series No. 14 IAEA Vienna.
42. IAEA (1980) Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. Safety series, No. 50-S 6-S3.
43. IAEA (1981) Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities (Safety Series No 55) IAEA Vienna.
44. IAEA (1982) Basic Sæfety Standard, for Radiation Protection. Isafety Series No. 9. 1982 ed) IAEA Vienna.
45. IAEA (1982) Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases (Safety Series No. 57) IAEA Vienna.
46. IAEA (1982) Nuclear Power theEnvironment and Man, IAEA, Vienna.
47. IAEA, (1983) Biological effects of Low Level Radiation, Proceed. Symp. IAEA, Vienna.
48. IAEA (1983) Radiation Protection During Operation of Nuclear Power Plants (Safety Series No. 50- SG- 05). IAEA Vienna.
49. ICRP (1973) ICRP Publication 15 and 21 Protection Against «Ionizing Radiation from External Sources. Pergaman Press. England.
50. ICRP (1973) ICRP Publication 22. Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable. Pergamon Press. England ICRP Publication 23.
51. ICRP (1972) Reference Man, physiological and Metabolic Characterstics Pergamon Press, England.

52. ICRP (1977) ICRP Publication 26. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press England.
53. ICRP (1977) ICRP Publication 27. Problems Involved in Developing an Index of Harm. Pergamon Press England. (ICRP Publication 28).
54. ICRP (1978) ICRP Publication 28) The Principles and general Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers.
55. ICRP (1979) (ICRP Publication 29) Radionuclides Release into the Environment; Assessment of Doses to Man. Pergamon Press England.
56. ICRP (1979) (ICRP Publication 30, Part 1) Limits of Intake of Radionuclides by workers. Pergamon Press, England.
57. ICRP (1980) ICRP Publication 30, Supplement to Part 1). Pergamon Press, England.
58. ICRP (1980) (ICRP Publication 31). Biological Effects of Inhaled Radionuclides. Pergamon Press, England.
59. ICRP (1980) ICRP Publication 30 Part 2) Limits for Intake of Radionuclides by workers. Pergamon press, England.
60. ICRP (1981) ICRP Publication 30 Parts) Limits of Intake of Radionuclides by Workers. Pergamon Press. England.
61. ICRP (1982) ICRP Publication 39 General principles of Monitoring for Radiation Protection of workers, Pergamon Press England.
62. ICRP (1983) ICRP Publication 37. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection, Pergamon Press England.
63. ICRP (1984) ICRP Publication 39, Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. Pergamon Press, England.
64. ICRP (1984) ICRP Publication 40, Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accident: Principles for Planning, Pergamon Press England.
65. ICRP (1984) ICRP Publication 41, Non stochastic Effects of Ionizing Radiation, Pergamon Press, England.
66. ICRP (1984) ICRP Publication 42, A. Compilation of the Major Concepts and Quantities in use by ICRP Pergamon. Press, England.
67. ICRP (1985) ICRP Publication 43. Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population. Pergamon Press, England.
68. Irweck, K. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 175-182.
69. Jasko, R.T. Berven, B.A. and Haywood, F.F. (1983) Health Physics 45, 631-641.
70. Jaworowski, Z. (1982) IAEA Bull. 24, 35-39.
71. Johnson, J.R. et. al. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 87-95.
72. Jones, J.A. (1982) Radiol. Prot. Bull. Part 49 15-17.
73. Kahn, B. et. al. (1983) Health Physics 45, 349-361.
74. Kathern, R.I. (1982) Health Physics 42, 119-131.
75. Kase, K.R. and Nelson, W.R. (1978) Concepts of Radiation Dosimetry. Pergamon Press U.S.A.

76. Kates, R.W. (1981) Risk Assessment of Environmental Hazards., SCOPE John Willey and Sons England.
77. Kiefer and Maushart (1972) Radiation Protection Measurements, English edition Pergamon Press.
78. King, P.T. et. al. (1982) *Geochemica et Cosmochimica Acta* 46, 1173-1182.
79. Krishnamoney S. and Raghunath, V. M. (1969) *Handbook of Health Physics* BHABHA Atomic Research Centre, Bombay India.
80. Lickly, T.D., Blanchard, F.A. and Takahashi, I.T. (1983) 9, 221-224.
81. Lindell, E. 8. ed (1976) *Radiation Protection Liber Tryck stockholm*.
82. Liou, K.N. (1980) «An Introduction to Atmospheric Radiation» Academic Press New York.
83. Livingston, H.D. and Anderson, R.F. (1983) *Nature* 303, 228-231.
84. Lloyd, D.C. and Purrott, R.J. (1981) *Radiation Protection Dosimetry*. 1, 19-28
85. Markovic, P.D. ed (1977) *Current Problems and concepts of the Health Physics*, Boris Kidric, Yagoslvia
86. Martin, A. and Harbison, S. (1979); «An Introduction Radiation Protection» 2nd ed. Chapman and Hall, London.
87. Martin, R.F. and Haseltine, W.A. (1981) *Science* 213, 896 - 898.
88. Max Well, K.E. (1980) «Environment of Life, 3rd ed. Brooks/ Cole Publishing Co, U.S.A
89. Mc Kinlay, A.F. (1981) «Thermoluminescence Dosimetry. Adam Hilger Publisher. U.K.
90. Metcalf, P.E. and Winkler, B.C. (1980) *Radiation Protection: A Systematic Approach to Safety. Proceed. Symp IAEA Vienna*
91. Miller, S. (1980) *Environmental Science Technol* 14, 1417.
92. Minato, S. (1983) *J. Radioanal. Chem* 78, 199 - 207
93. Momoshima et. al. (1983) *Radiochem. Radioanal. Letters* 58, 1 - 18
94. Moolgavkar, S.H (1983) *Environ Health. Prosp.* 50, 285 - 291
95. NCRP (1971) (NCRP Report No 39) Basic Radiation Protection Criteria. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
96. NCRP (1974) (NCRP Report No 42) Radiological Factors Affecting Decision - Making in a Nuclear Attack. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A

- 97 . NCRP (1975) (NCRP Report No 43) Review of the Current state of Radiation Protection
Philosophy. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
- 98 . NCRP (1975) (NCR P Report No..45) National Background Radiation in the United states, National Council on Radiation Protection and Measurement U.S.A
- 99 . NCRP (1976) (NCRP Report No 50) Environmental
Radiation Measurements. National Council on Radiation Protection and Measurement. U.S.A
- 100 . NCRP (1977) (NCRp Reort No 56) Radiation Exposure Form Consumer Products and Miscellaneous Sources. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
- 101 . NCRP (1978) (NCRP Reort No 57) Instrumentation and Monitoring Methods for Radiation Protection, National Council on Radiation Protection and Measurements. U.S.A
- 102 . NCRP (1978) (NCRP Report No 58) A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures. National Council on Radiation Protection and Measurement U.S.A
- 103 . NCRP (1978) (NCRP Report No 59) Operational Radiation Safety Program. National Council on Radiation Protection and Measurements. U.S.A
- 104 . NCRP (1980) (NCRP Report No 64) Influence of Dose and its Distribution in Time on Dose - Response Relation ship for Low - LET Radiation National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
- 105 . NCRP (1981) Critical Issues in Setting Radiation Dose Limits, Symposium Preceeding, National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
- 106 . Nero, A.V (1983) Health Physics 45, 303 - 322.
- 107 . Oberhofer, M. and Scharman, A. eds. (1979) .
«Applied Thermoluminescence Dosimetry» Adam Hilger Publisher U.K
- 108 . OECD (1983) Nuclear Safety, 24, 239 - 242.
- 109 . Parker A. ed (1978) «Industrial Air Pollution Handbook», Mc Graw - Hill Book Co. U.K
- 110 . Pentreath, R.J. (1980) Nuclear Power, Man and the Environment, Taylor and Francis Ltd London.
- 111) Pitout, M.S. et. al. (1983) Nuclear Active 28, 29-32.
112. Pochin, E.E. (1980) Atomic Energy Review A 376 779-800.
113. Pochin, E.E. (1981) Proc. R. Soc. Lond. A 376. 87-101.

114. Ringwood, T. (1983) New Scientist 98. 756-758.
115. Robertson, M. (1983) New Scientist 98, 688-691.
116. Rolph, E.S. (1979) Nuclear Power and the Public Safety. Rand Corporation U.S.A.
117. Sakka, M. (1982) J. Radiol Res. 25,411-422.
118. Scherplez, R. I and Desrosiers, A.E. (1982) Health Physics 43, 187-203.
119. Shapiro, j. (1981) «Radiation Protection» 2nd ed. Harward Press.
120. Silverman, C. and Shore, M.C. (1976) «Biological and Environmental Effects of Low-Level Radiation Proeed. Symp. Vol II IAEA Vienna.
121. Simon, R.E, (1981) Health Physics 40, 529-534.
122. Simon, N. and Shils, M. (1983) Science 221, 318-319.
123. Solon, L.R. and Rosenberg, K. (1981). The Bull, of Atomic Scientist 54, 56
124. Stein, F. et. al. (1983) Health Physics 45, 331-337.
125. Tanooka, H. and Munakata, N. (1978) Rad. Res. 73,581-584.
126. Till, J.E., Etnier, E.L. and Meyer, H.R. (1981) Nuclear Safety 22, 205-213.
127. UNSCEAR (1982) Ionizing radiation: sources and biological effects. 1982 report to the General Assembly. United Nation New York.
128. Weisburger, J.H. and Williams, G.M. (1983) Environ. Health Perspective 50, 233-245.
129. Wena, P. and Chu, T. (1981) Health Physics 40, 489-494.
130. WHO (1984) The Medical Effect of Nuclear War on Health Services WHO, Geneve.
131. Winogard, I.J. (1981) Science 212, 1457-1464.
132. Winter, J.V. and Conner, D. A. (1978) «Power Plant Siting» Van Nostrand Reinhold New York.
133. Yunis, J.J. (1983) Science 221, 227 - 235.

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع أرشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد (٢٢٣) لسنة ١٩٨٩

مطبعة بابل

بغداد - البتاوين ٧١٨٤٧٢٨

هـسـا بـرہـمـی

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة
مكتبتي الخاصة
على موقع ارشيف الانترنت
الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية
قسم الاعلام والنشر
للمراسلات - صندوق بريد ٧٦٥ بغداد